

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**GESTIÓN HÍDRICA SOSTENIBLE DE UNA RED DE AGUA POTABLE SECTORIZADA,  
OPTIMIZADA MEDIANTE LA OPERACIÓN DE DISTRITOS HIDROMÉTRICOS  
MODULADOS; CASO DE ESTUDIO: “NUEVA EXPOSICIÓN”**

**PRESENTA**

**ING. FRANCISCO JAVIER SAENZ ESPARZA**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN  
CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DICIEMBRE, 2017**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**GESTIÓN HÍDRICA SOSTENIBLE DE UNA RED DE AGUA POTABLE  
SECTORIZADA OPTIMIZADA MEDIANTE LA OPERACIÓN DE  
DISTRITOS HIDROMÉTRICOS MODULADOS; CASO DE ESTUDIO:  
“NUEVA EXPOSICIÓN”**

PRESENTA

ING. FRANCISCO JAVIER SAENZ ESPARZA

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL

V°. B°.

DIRECTOR DE TESIS

---

Dr. René Alberto Dávila Pórcel



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**GESTIÓN HÍDRICA SOSTENIBLE DE UNA RED DE AGUA POTABLE  
SECTORIZADA OPTIMIZADA MEDIANTE LA OPERACIÓN DE  
DISTRITOS HIDROMÉTRICOS MODULADOS; CASO DE ESTUDIO:  
“NUEVA EXPOSICIÓN”**

PRESENTA

**ING. FRANCISCO JAVIER SAENZ ESPARZA**

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Vo. Bo.

COMITÉ DE REVISIÓN

---

Dr. René Alberto Dávila Pórcel  
Director de Tesis

---

M.C. Ricardo Alberto Cavazos González  
Evaluador

---

M.I. Alfonso González Sánchez  
Evaluador

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN

DICIEMBRE DE 2017

# DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida, haberme guiado por el buen camino, por darme vida y salud para lograr todos mis objetivos, además de su infinita bondad y amor hacia mi persona.

A mis padres, quienes hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y porque me han apoyado para llegar hasta esta etapa de mis estudios, además de brindarme apoyo moral y psicológico.

A mi esposa Georgina y a mis hijos (Francisco Javier y Azis Aide), por su apoyo incondicional en todo momento, por su paciencia, por su comprensión, por su dedicación, por su fuerza, por su amor y por ser tal como son.

Al Doctor René Alberto Dávila Pórcel, persona de gran sabiduría, quien se ha esforzado y preparado para cumplir este gran reto, ya que sin su apoyo esto no hubiese sido posible.

A mis catedráticos; ya que, gracias a ellos, logré cursar mis materias con buenas notas y formarme como profesionista. Gracias a su ayuda y sus consejos logré terminar mi carrera y mi tesis.

*“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”*

- Albert Einstein



# AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por ser mi guía en todo momento, por protegerme al recorrer mi camino y darme fuerzas para superar cada uno de mis obstáculos y por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, haciendo realidad mi sueño. Le agradezco infinitamente por darme la más grande bendición que es la vida, la salud, la familia; y por guiar mi vida.

A mi familia, fuente de apoyo constante e incondicional a lo largo de mi vida, más aún, en mis demandantes años de carrera profesional y, en especial, quiero expresar mi más grande agradecimiento a mis padres, que sin su ayuda hubiera sido imposible culminar mi profesión.

A mi esposa e hijos por su paciencia y comprensión. Hoy hemos alcanzado un triunfo más en la vida, porque me animaron en los momentos más difíciles; sin ellos esto no hubiera sido posible.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y en especial a la Facultad de Ingeniería Civil porque me formó a lo largo de esta etapa de mi vida.

Agradezco a Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey por su gran apoyo en cuanto a becarme en gran parte de mi formación profesional y por apoyar con todo el material que puso a mi disposición para llevar a cabo esta tesis.

Agradezco enormemente a mi Director de Tesis, el Dr. René Alberto Dávila Pórcel por su esfuerzo y dedicación, sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su paciencia y su motivación, que han sido fundamentales en todo momento. Su manera de ayudarme y el tiempo que ha dedicado me hacen sentir en deuda con él por todo lo recibido durante el desarrollo de mi tesis.

Al M.C.. Ricardo Alberto Cavazos González y al M.I. Alfonso González Sánchez por haber revisado este trabajo y por sus valiosos consejos que permitieron mejorarlo. A mis compañeros en especial a Edgar Alan Espronceda Rocha.

A todo el personal Docente de la Facultad de Ingeniería Civil, por haberme enseñado y formado como un prometedor profesionista en las distintas ramas de la Ingeniería Civil.

¡Muchas Gracias!

Atentamente,

Francisco Javier Saenz Esparza

# RESUMEN

El agua es un recurso indispensable para lograr el desarrollo sostenible de las ciudades y puede hacer frente al acelerado crecimiento poblacional, a las temperaturas elevadas y a períodos de sequía. Este complicado escenario obliga a gestionar el agua de los sistemas de abastecimiento en forma eficiente. El objetivo de esta investigación es optimizar el funcionamiento de un conjunto de circuitos de la red de distribución de agua potable sectorizada mediante su integración en el *Distrito Hidrométrico Modulado “Nueva Exposición”* que se localiza en el municipio de Guadalupe en el Estado de Nuevo León y que es operada por Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey. El método desarrollado tiene como finalidad ahorrar agua, disminuir fugas y controlar las presiones de operación en la red de abastecimiento. La optimización inició con la “sectorización” que consiste en independizar los sectores de distribución para aislarlos entre sí por medio de válvulas de cierre; además, deben tener un solo punto de entrada de agua, donde se instaló un macromedidor. Por comparación de volúmenes de ingreso versus volúmenes facturados, es posible detectar fugas no visibles o conexiones clandestinas en la red. Los *sectores* son la base para la creación de los Distritos Hidrométricos Modulados, que permiten optimizar el funcionamiento de la red al agrupar sectores aledaños con un límite de usuarios no mayor que 10,000. El sistema piloto es el *Distrito Hidrométrico Modulado “Nueva Exposición”*, donde se instaló el sistema modulante, en el punto de ingreso, conformado por una válvula reguladora de presión y un par de controladores de presión y flujo. Este sistema monitorea continuamente y controla la válvula reguladora, respetando los valores de presión y de flujo previamente configurados. El sistema modulante se implementó para reducir las fugas de agua, utilizando la presión de abastecimiento como variable controlada; se suministra una mayor presión en el día y una menor presión por las noches, respondiendo a la demanda de los usuarios. Los beneficios de esta implementación se evidencian debido a que las fugas existentes reducen su volumen de pérdidas y que los usuarios no sufren daños en su red domiciliaria por presión excesiva de agua. Los resultados más importantes son: el volumen promedio de agua ahorrada es igual a 18,770 m<sup>3</sup>/mes, mismo que serviría para abastecer a 625 nuevos usuarios, considerando un abastecimiento 250 l/hab/día y un promedio de 4 habitantes por conexión. Si el modelo implementado en el presente estudio pudiera ser replicado en toda el Área Metropolitana de Monterrey (1,318,534 usuarios a septiembre 2016), significaría esto un ahorro aproximado de 30,352,653 m<sup>3</sup>/año. Los resultados alcanzados demuestran que el método implementado constituye un importante aporte en la gestión sostenible del agua y puede optimizar un sistema de distribución de agua potable, al hacerlo más sostenible, en términos de eficiencia hídrica y durabilidad de la infraestructura construida.

# CONTENIDO

## 1.- ANTECEDENTES

1.1. Introducción.....	1
1.2. Situación del agua en México y en el mundo. ....	2
1.3. Hidrografía del Área Metropolitana de Monterrey.....	5
1.4. Clima del Área Metropolitana de Monterrey.....	6
1.5. Crecimiento poblacional y urbanización. ....	7
1.6. Economía y actividades productivas.....	9
1.7. La crisis del agua. ....	9
1.10. Hipótesis. ....	12
1.11. Objetivos.....	12
1.11.1. Objetivo General.....	12
1.11.2. Objetivos Específicos. ....	12
1.12. Fundamentación del problema. ....	13
1.13. Alcance.....	15

## 2.- MARCO TEORICO

2.1. Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Área Metropolitana de Monterrey. ....	16
2.2. Sectorización de la Red de Agua Potable. ....	21
2.3. Red sectorizada de distribución de agua potable.....	27
2.4. Distrito hidrométrico modulado Nueva Exposición .....	27

## 3.- METODOS

3.1. Definiciones .....	30
3.1.1. Almacenamiento.....	30
3.1.2. Macromedidor .....	31
3.1.3. Alimentador .....	31
3.1.4. Red de distribución primaria .....	32
3.1.5. Red de distribución secundaria .....	32
3.1.6. Conexión a usuarios.....	32
3.2. Funcionamiento del sistema sin la implementación de circuitos .....	32
3.3. Funcionamiento del sistema con la implementación de circuitos .....	34
3.3.1. Proceso de Sectorización .....	36

3.4. Distrito Hidrométrico Modulado .....	47
3.4.1 Funcionamiento del sistema del distrito hidrométrico modulado Nueva Exposición ....	48
<b>4.- RESULTADOS</b>	
4.1. Sistema con circuitos implementados .....	52
4.2. Funcionamiento del sistema del Distrito Hidrométrico Modulado.....	55
4.3. Discusión de resultados. ....	59
<b>5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1. Conclusiones. ....	64
5.2. Recomendaciones.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Regiones Hidrológico-Administrativas de México (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).	3
Figura 1. 2 Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México, 2015 (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).	3
Figura 1. 3 Precipitación pluvial anual, 2000-2015 (mm) (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).	5
Figura 1. 4 Hidrografía de AMM y zona aledaña. Fuente: Aguilar, 2015.	6
Figura 1. 5 Ubicación de AMM. Fuente: Aguilar, 2015.	7
Figura 1. 6 Crecimiento Urbano de AMM. Fuente: Aguilar, 2015.	8
Figura 1. 7 Crecimiento Poblacional en base a datos de Censos del INEGI (Fuente: <a href="http://inegi.org.mx">http://inegi.org.mx</a> ).	8
Figura 1. 8 Gráfica de Evolución de la disponibilidad del agua en México (CONAGUA, 2011).	11
Figura 1. 9 Distribución de las centrales operativas en el Área Metropolitana de Monterrey.	14
Figura 1. 10 Comparación del Crecimiento de Usuarios Vs Crecimiento de Demanda AMM (Fuente: SADM 2007).	14
Figura 2. 1 Suministro de agua en el Área metropolitana de Monterrey en el 2016 (SADM, 2017).	19
Figura 2. 2 a) Presa la boca (SADM, 2017).; b) Presa El Cerro Prieto (SADM, 2017a); c) Presa El Cuchillo (SADM, 2017a).	20
Figura 2. 3 Operación hidráulica del sistema de distribución metropolitano (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2017).	21
Figura 2. 4 Fugas en depósitos (Fuente: SADM).	23
Figura 2. 5 Fugas en conducciones (Fuente: SADM).	23
Figura 2. 6 Fugas en conexiones domiciliarias (Fuente: SADM).	24
Figura 2. 7 en el cuadro al medidor (Fuente: SADM).	24
Figura 2. 8 Fugas de cajas de válvulas (Fuente: SADM).	25
Figura 2. 9 Fugas intradomiciliarias (Fuente: SADM).	25
Figura 2. 10 Relación Pérdidas vs Costo de Recuperación. (Fuente CONAGUA, 2007).	26
Figura 2. 11 Ubicación del Área de estudio (Fuente: SADM).	29
Figura 3.1. Componentes del tanque (CONAGUA, 2015).	31
Figura 3.2. Zona de Presión “La silla” (Fuente: SADM, 2017).	33
Figura 3.3 Diagrama de flujo del sistema de abastecimiento por “Zonas de Presión” (Fuente: SADM, 2017).	34
Figura 3.4 Circuitos en la zona de estudio (Fuente: SADM, 2017).	35
Figura 3.5 Diagrama de flujo de la Sectorización (Fuente: SADM, 2017).	36
Figura 3. 6 Planos para revisión.	39
Figura 3.7 Construcción de la caja de válvulas.	40

Figura 3.8 Detalle de medidor general tipo.....	40
Figura 3.9 Reparación de fugas.....	41
Figura 3.10 Utilización de carretes. ....	42
Figura 3.11 Ubicación de la toma de presiones.....	42
Figura 3.12 Equipo de registro.....	43
Figura 3.13 Instalación del registrador. ....	44
Figura 3.14 Resultados del registrador. ....	44
Figura 3.15 Personal tomando las lecturas correspondientes. ....	45
Figura 3.16 Registro de lecturas. ....	46
Figura 3.17 Pre dictamen.....	46
Figura 3.18 Válvula reguladora serie 300 Dorot 10". ....	49
Figura 3.19 Controladores de presiones y flujo.....	49
Figura 3.20 Sistema de modulación.....	50
Figura 3.21 Diagrama del distrito hidrométrico modulado.....	51

Figura 4. 1 Gráfica de volumen mensual por circuito para 2014 (Fuente: Generación propia con valores de AyD). ....	53
Figura 4. 2 Gráfica de volumen mensual por circuito para 2015 (Fuente: Generación propia con valores de AyD). ....	54
Figura 4. 3 Gráfica de volumen mensual por circuito para 2016 (Fuente: Generación propia con valores de AyD). ....	54
Figura 4. 4 Gráfica de volumen mensual por circuito para 2016 (Fuente: Generación propia con valores de AyD). ....	56
Figura 4. 5 Gasto y presiones antes del control (Fuente: Marfel, 2017). ....	56
Figura 4. 6 Gasto y presiones para Primer control (Fuente: Marfel, 2017).....	57
Figura 4.7 Gasto y presiones para Segundo control (Fuente: Marfel, 2017). ....	58
Figura 4.8 Gráfica de volúmenes de 2014 vs. 2017. ....	60
Figura 4.9 Gráfica de volúmenes de 2015 vs. 2017. ....	60
Figura 4.10 Gráfica de volúmenes de 2016 vs. 2017. ....	61
Figura 4.11 Comparación de volúmenes del Sistema Hidrométrico Modulado. ....	62
Figura 4.12 Comparación de presiones de funcionamiento del Sistema Hidrométrico Modulado.....	63

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Precipitación pluvial normal mensual, 1981-2010 (mm) (CONAGUA-SEMARNAT, 2016). .....	4
Tabla 1.2 Crecimiento Poblacional en base a datos de Censos del INEGI (Fuente: <a href="http://inegi.org.mx">http://inegi.org.mx</a> ). .....	9
Tabla 1.3 Países del mundo con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola, industrial y abastecimiento público (CONAGUA, 2011). .....	10
Tabla 1.4 Grado de presión sobre el recurso hídrico, por región hidrológico-administrativo. ....	11
Tabla 2.1 Evolución de la cobertura nacional de agua potable, 1990-2008 (INEGI, Censos de Población y Vivienda 1990 y 2000; Censos de Población y Vivienda 1995 y 2005). .....	17
Tabla 2.2 Indicadores del agua a diciembre 2007 en Nuevo León (Conagua. Indicadores del Agua, 2007). .....	18
Tabla 2.3 Circuitos que conforman el Distrito Hidrométrico Modulado Nueva Exposición. ...	28
Tabla 4.1 Lecturas para circuito 3056 del año 2016 (Fuente: Base de datos de AyD). .....	53
Tabla 4.2 Lecturas para circuito 3056 del año 2017 (Fuente: Base de datos de AyD). .....	55
Tabla 4.3 Parámetros para Primer control (Fuente: Marfel, 2017). .....	57
Tabla 4.4 Parámetros para Segundo control (Fuente: Marfel, 2017). .....	58
Tabla 4.5 Comparación de parámetros después del control.....	59

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

AYD	Agua y Drenaje
AMM	Área Metropolitana de Monterrey
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SADM	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
RHA	Regiones Hidrológico-Administrativas
CONAPO	Consejo Nacional de Población
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
NAMO	Nivel de Aguas Máximas Ordinarias
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
DHM	Distrito Hidrométrico Modulador
QMD	Gasto Máximo Diario
IPD	Institución Pública Descentralizada



# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1. Introducción.

El agua es indispensable para lograr el desarrollo sostenible y debe ser gestionada en forma eficiente en todo su ciclo dentro de los sistemas de abastecimiento, saneamiento y de reúso para asegurar la sostenibilidad hídrica.

El suministro de agua potable en calidad y cantidad suficientes para satisfacer las necesidades de la población se realiza a través de redes de tuberías; si se llegan a presentar fallas de diseño, instalación u operación se pierde una parte del vital líquido, estas fallas son conocidas como “fugas”; en el caso de ser varias fallas, los volúmenes de pérdida de agua son cuantiosos, por lo que la eficiencia del sistema requiere las mejores herramientas metodológicas disponibles (Cisneros, 2007).

La gestión eficiente de la red de distribución de agua potable debe considerarse uno de los principales ejes rectores de los Organismos Operadores de Agua, porque la pérdida de agua en ellas representa impactos económicos que demeritan su eficiencia global y repercuten en la satisfacción de los usuarios, el deterioro de la imagen de responsabilidad social y el incremento de riesgos de contaminación ante presiones negativas en las líneas y la presencia de estos problemas hacen imposible lograr la sostenibilidad hídrica (Comisión Nacional del Agua, 2012).

La optimización de las redes de distribución de agua potable mediante la aplicación de nuevas tecnologías y métodos modernos puede alargar la vida útil de la infraestructura y

orientar en mayor grado el cuidado y la sostenibilidad del agua como recurso imprescindible para la vida. Para lograr la sostenibilidad de los recursos hídricos es necesario aceptar que existen diferentes grados de vulnerabilidad en las redes de distribución de agua potable en áreas urbanas y, por consiguiente, se presentan impactos ambientales sobre el recurso agua. La implementación de nuevas herramientas para optimizar el sistema son factor para incrementar continuamente la eficiencia física, hidráulica y energética durante la vida útil de la red. Estos desafíos deben ser atendidos de forma prioritaria, si el objetivo es alcanzar la sostenibilidad hídrica del recurso y de la infraestructura de las redes de distribución construidas y en operación.

## **1.2. Situación del agua en México y en el mundo.**

El agua dulce en el mundo es un recurso que se encuentra amenazado, escaso y en peligro, pues sólo el 0.007% del agua dulce se encuentra disponible para todos los humanos. De acuerdo con proyecciones realizadas, para el año 2025 más de las dos terceras partes de la humanidad sufrirá algún grado de estrés hídrico, por la falta de este vital líquido (Toledo, 2002).

Dentro del ciclo hidrológico, de los 113,000 km<sup>3</sup>, un volumen aproximado de 71,000 km<sup>3</sup> de agua se evapora y retorna a la atmósfera. Se estima que el volumen realmente disponible que se tiene es de entre 9,000 y 14,000 km<sup>3</sup> y aproximadamente el 70% de éstos, son necesarios para alimentar los ecosistemas terrestres, lo que reduce a un 30%, es decir 4,200 km<sup>3</sup>, de agua disponible para usos humanos; sin embargo, este recurso varía en el espacio y en el tiempo, pues la mayor parte de este volumen se ubica en Asia y Sudamérica (13,500 y 12,000 km<sup>3</sup>), caso contrario para Europa, Australia y Oceanía (2,900 y 2,400 respectivamente) y tiene gran variabilidad de disponibilidad a lo largo del año (Toledo, 2002).

Existe gran desigualdad de la distribución de agua dulce entre las regiones naturales y económicas. El 75% de la población se concentra en países donde existe un 20% de la disponibilidad de agua y debido al crecimiento acelerado, la situación empeorará en un futuro próximo. Hacia el 2025, el 80% de la población vivirá bajo condiciones de alta escasez de recursos hídricos (Toledo, 2002); mientras que para el 2030 se pronostica que el mundo enfrente un déficit de agua de un 40% bajo el escenario de consumo actual (UN-WWAP, 2015).

Para la administración y preservación de las aguas nacionales, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) dividió el país en trece Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) las cuales están conformadas por agrupaciones de cuencas. Para facilitar la integración los límites de los RHA coinciden con los límites municipales (Figura 1.1) (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).



Figura 1. 1 Regiones Hidrológico-Administrativas de México (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

La CONAGUA señala que anualmente México recibe  $1,449 \text{ km}^3$  de agua en forma de precipitación. Se estima que el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.2% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.3% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, anualmente el país cuenta con 446,777 millones de  $\text{m}^3$  de agua dulce renovable. En la Figura 1.2, se puede apreciar el flujo de agua en el ciclo hidrológico (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

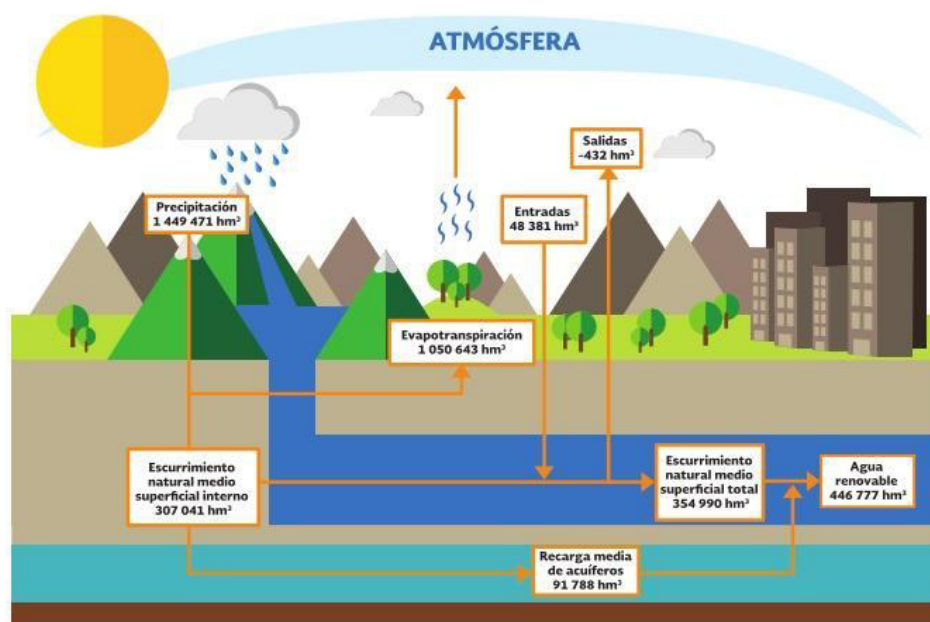


Figura 1. 2 Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México, 2015 (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

Los flujos de entrada en la Figura 1.2 representan el volumen de agua que ingresa al país de las cuencas transfronterizas de Estados Unidos de América, Guatemala y Belice, el flujo de salida representa el volumen que se le debe entregar a Estados Unidos de América de acuerdo con el “Tratado de Aguas” de 1944 (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

Para el estudio del agua subterránea, se dividió el país en 653 acuíferos, los cuales aportan el 38.9% del volumen para usos constitutivos, 105 acuíferos actualmente se encuentran en condición de sobreexplotación, 32 con presencia de suelos salinos y agua salobre y 18 con intrusión marina. Mientras que para el estudio del agua superficial existen 731 cuencas y 8 cuencas transfronterizas y 54 ríos principales a lo largo y ancho del país (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

La precipitación normal promedio del país para el periodo 1981-2010 fue de 740 mm. En la Tabla 1.1 se muestra la precipitación media mensual en dicho periodo por RHA y dicha precipitación es uno de los principales problemas de la disponibilidad, ya que el 68% ocurre en los meses de junio a septiembre, se puede observar en la tabla la marcada diferencia de la precipitación, ya que en la RHA XI Frontera Sur recibe 11 veces más que la RHA I Península de Baja California, en la Figura 1.3 se muestra la precipitación pluvial anual en el periodo de 2000-2015 en la cual se puede hacer una comparación entre la media anual de los años 1981-2010 que se mencionaron al inicio del párrafo (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

**Tabla 1.1** Precipitación pluvial normal mensual, 1981-2010 (mm) (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

Numero de RHA	enero	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ANUAL
I	20	19	14	4	1	1	10	26	32	11	10	20	168
II	24	21	12	6	4	19	108	103	58	25	17	31	428
III	31	16	8	6	9	66	194	188	142	52	26	29	765
IV	12	8	6	11	48	179	199	197	194	84	15	6	962
V	8	8	6	15	71	230	200	219	242	113	20	7	1,139
VI	19	11	11	17	28	40	63	61	64	32	12	15	372
VII	18	9	6	12	27	56	79	71	67	29	11	13	398
VIII	22	11	4	6	23	131	197	180	153	60	13	10	808
IX	26	20	19	38	67	120	137	119	166	89	30	23	855
X	51	40	30	43	84	222	261	264	293	179	97	64	1,626
XI	65	54	36	49	135	276	223	265	331	224	109	76	1,842
XII	45	35	31	39	90	167	153	173	208	147	72	49	1,207
XIII	11	11	12	28	51	109	126	115	110	57	13	6	649
NACIONAL	<b>25</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>18</b>	<b>42</b>	<b>102</b>	<b>134</b>	<b>134</b>	<b>135</b>	<b>69</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>740</b>

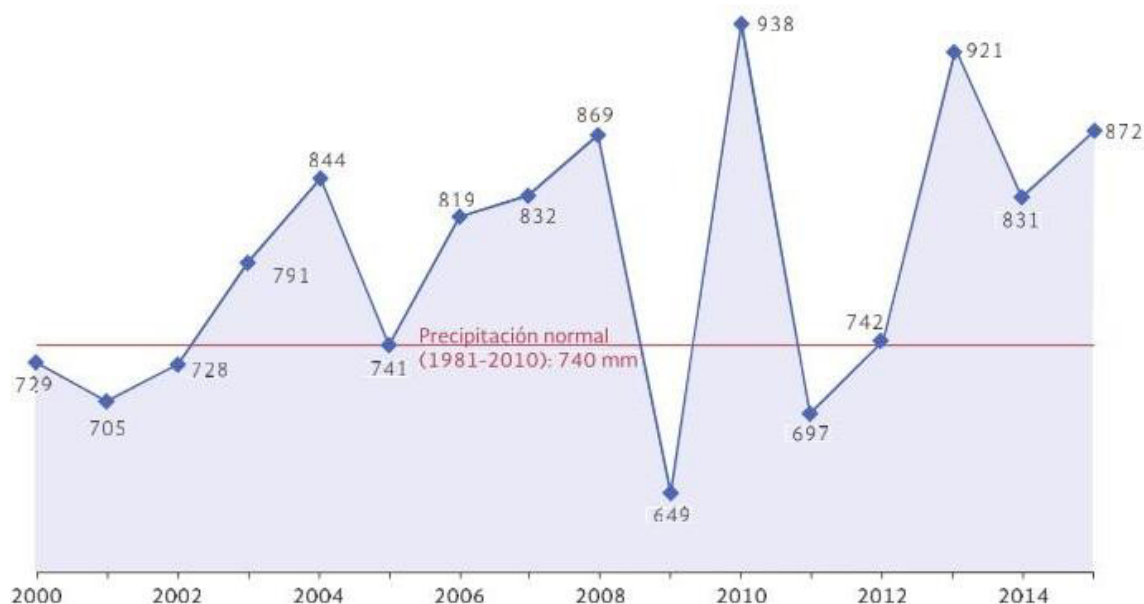


Figura 1. 3 Precipitación pluvial anual, 2000-2015 (mm) (CONAGUA-SEMARNAT, 2016).

### 1.3. Hidrografía del Área Metropolitana de Monterrey.

El AMM se encuentra inmersa en la Región Hidrológica IV Río Bravo-San Juan, y como señala Aguilar (2015), su principal corriente, el río Santa Catarina, nace en la parte alta de los cañones de La Huasteca en la Sierra Madre Oriental. Luego de atravesar toda la zona urbana de poniente a oriente, confluye con el río San Juan, el cual alimenta la presa El Cuchillo –la principal fuente de agua superficial de la zona metropolitana. En el límite norte de la zona urbana fluye el río Pesquería; receptor de la mayor parte de las descargas de aguas residuales tratadas del AMM, se une al río San Juan aguas abajo de la presa El Cuchillo. De ahí el río San Juan sigue su ruta hasta la presa Marte R. Gómez, en Tamaulipas, para desembocar finalmente en el río Bravo en la frontera con Estados Unidos (Figura 1.4) (Aguilar Barajas, Sisto, & Ramirez Orozco, 2015).

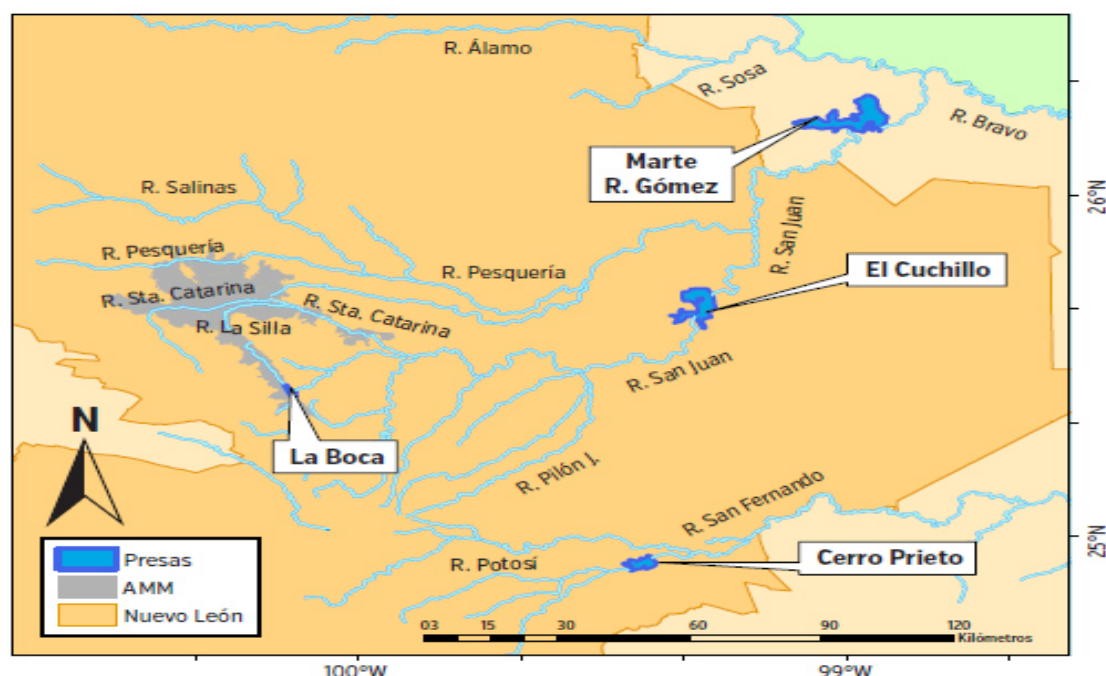


Figura 1.4 Hidrografía de AMM y zona aledaña. Fuente: Aguilar, 2015.

## 1.4. Clima del Área Metropolitana de Monterrey.

El AMM se encuentra en una zona semiárida, según la clasificación climática de Köppen, y por ende, se enfrenta a una baja disponibilidad natural de recursos hídricos. De hecho, el clima local de la zona metropolitana marca una transición entre el trópico subhúmedo y el desierto, con precipitaciones pluviales mucho más significativas hacia el este y sureste de la región en comparación con el muy seco oeste. Además de relativamente escasas, las lluvias en el AMM y las zonas aledañas presentan un alto grado de variabilidad inter-anual, como lo ilustra la Figura 1.5, donde Aguilar (2015), integra la acumulación anual de lluvia registrada en el centro de la zona metropolitana desde mediados del siglo pasado.

Para más del 34 % de los años de observación, la lluvia fue inferior a los 500 mm (muy abajo del promedio de 622 mm). Sin embargo, ocasionalmente se han presentado lluvias relativamente abundantes, incluso superiores a los 1,000 mm para el 9% de los años de observación. Es notable la presencia de prolongados períodos con escasas lluvias, y de sequías severas; de ellas la más reciente fue la registrada entre 2011 y 2013.

Desde luego, esta gran variabilidad climática constituye un reto mayor para la provisión de los servicios urbanos de agua en el AMM. La distribución mensual de la precipitación en el AMM está marcada por una época de estiaje de seis meses (noviembre a abril) con acumulaciones pluviales mensuales menores que los 30 mm.

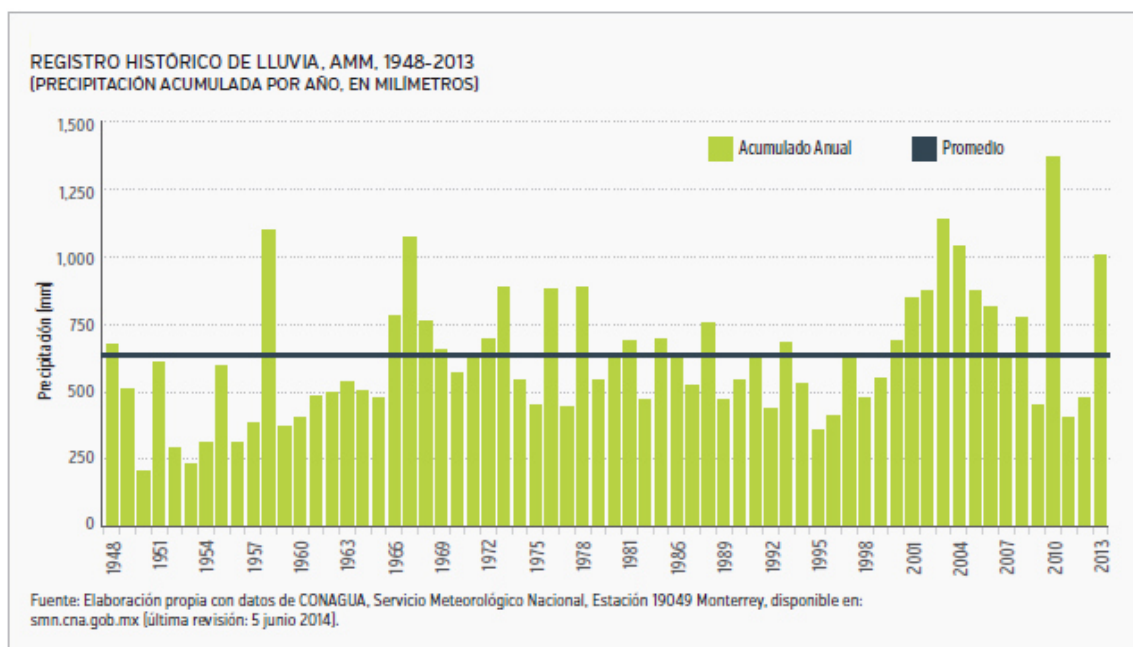


Figura 1.5 Ubicación de AMM. Fuente: Aguilar, 2015.

El régimen de temperaturas en la zona metropolitana también es extremo. Históricamente, se han llegado a presentar días muy calurosos en todos los meses del año, con temperaturas de 38 grados Celsius o más, así como días gélidos con temperaturas por debajo del punto de congelación, entre los meses de noviembre y marzo. Las fuertes variaciones comúnmente observadas en el AMM, tanto en la precipitación pluvial como en la temperatura, son factores importantes para el manejo de los servicios urbanos de agua, ya que se reflejan directamente en la demanda de agua; en particular, para el uso doméstico (Aguilar, 2015).

## 1.5. Crecimiento poblacional y urbanización.

La población rebasó los 2 millones de habitantes en 1980, para alcanzar los 4.1 millones en 2010. A la par del crecimiento poblacional, el área urbanizada del AMM durante este periodo también se ha extendido enormemente, llegando a cubrir un área de casi 900 km<sup>2</sup> en 2010 (Figura 1.6), que incluye a 13 municipios, según la definición oficial establecida por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

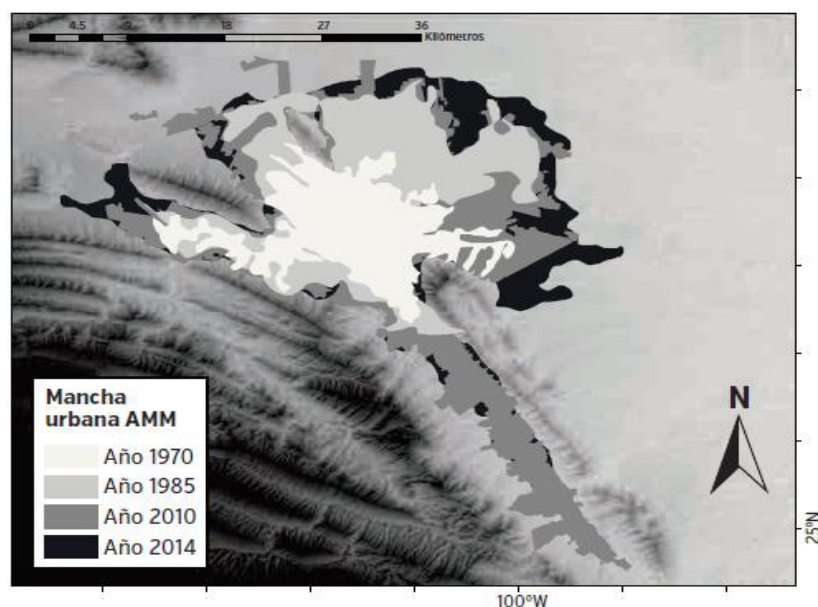


Figura 1.6 Crecimiento Urbano de AMM. Fuente: Aguilar, 2015.

El AMM se ha extendido principalmente de manera horizontal, siguiendo un proceso conocido como suburbanización acelerada, en el que el desarrollo se concentra en la periferia y se reduce la densidad poblacional. Las proyecciones del Consejo Nacional de Población sugieren que para el año 2030 el AMM superará los 5.3 millones de habitantes; es decir, en 20 años se agregarán más de un millón de personas (Aguilar, 2015).

Con base en los Censos de Población y Vivienda efectuados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2016), en la Tabla 1.2 se observa la tendencia de crecimiento poblacional en el AMM, que se refleja en la Figura 1.7. En el Municipio de Guadalupe se tenía en 2010 una cobertura de agua potable del 97.52% para una población de 678,006 habitantes, la que en 2015 se incrementó a 682,880 habitantes.

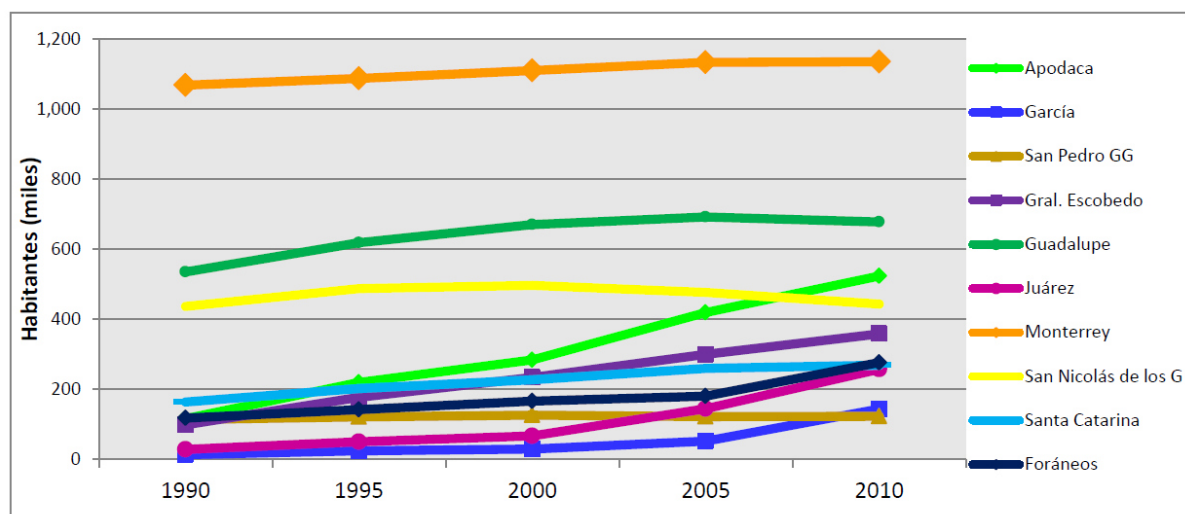


Figura 1.7 Crecimiento Poblacional en base a datos de Censos del INEGI (Fuente: <http://inegi.org.mx>).



**Tabla 1.2** Crecimiento Poblacional con base en datos de Censos del INEGI (Fuente: <http://inegi.org.mx>).

Municipio	1990	1995	2000	2005	2010
Apodaca	115,913	219,153	283,497	418,784	523,370
Cadereyta Jiménez	53,582	62,440	75,059	73,746	86,445
Carmen	4,906	6,168	6,644	6,996	16,092
Ciénega de Flores	6,708	8,586	11,204	14,268	24,526
García	13,164	23,981	28,974	51,658	143,668
San Pedro	113,040	120,913	125,978	122,009	122,659
General Escobedo	98,147	176,869	233,457	299,364	357,937
General Zuazua	4,647	5,276	6,033	6,985	55,213
Guadalupe	535,560	618,933	670,162	691,931	678,006
Juárez	28,014	50,009	66,497	144,380	256,970
Monterrey	1,069,238	1,088,143	1,110,997	1,133,814	1,135,550
Pesquería	8,188	9,359	11,321	12,258	20,843
Salinas Victoria	9,518	15,925	19,024	27,848	32,660
San Nicolás	436,603	487,924	496,878	476,761	443,273
Santa Catarina	163,848	202,156	227,026	259,896	268,955
Santiago	30,182	34,187	36,812	37,886	40,469
TOTAL (AMM )	2,691,258	3,130,022	3,409,563	3,778,584	4,206,636
Nuevo León	3,098,736	3,550,114	3,834,141	4,199,292	4,653,458
% Población Estatal	86.85%	88.17%	88.93%	89.98%	90.40%

## 1.6. Economía y actividades productivas.

La concentración económica de Nuevo León en el AMM es muy amplia, con el 89% de las unidades económicas, el 94 % del personal ocupado y el 97% del valor de su producción bruta total. Aguilar (2015), destaca el hecho de que su aportación al valor de la producción bruta total del país (8%) más que duplique su participación poblacional en el total nacional (3.7%), indica una alta productividad económica. Las actividades productivas más representativas corresponde a la industria metálica básica, (producción de acero y otros productos metálicos), los subsectores manufactureros relacionados con las industrias metalmecánica, la cervecera, la electrónica, la eléctrica, la de autopartes y la automotriz.

## 1.7. La crisis del agua.

Con base en las estadísticas del agua del mundo para consumo humano; es decir agua dulce, se sabe que es limitada y que su distribución, pues fuentes de abastecimiento y sus recursos para obtenerla son diferentes en cada país. Las diversas naciones que cuentan con insuficientes fuentes de abastecimiento de agua y muchas veces tienen que compartirla con otra nación, se ven obligadas a obtener agua de manera irregular y sin control, debido a la

alta demanda ejercida por el acelerado crecimiento de su población y de las actividades que realizan. La agricultura es la principal consumidora de agua en el nivel mundial, ya que su extracción representa el 72% y el segundo consumidor es la industria (CONAGUA, 2012). En la Tabla 1.3 se presentan los países con mayor extracción de agua, donde México ocupa el octavo lugar. Además, se presenta el porcentaje utilizado por las actividades agrícola, industrial y abastecimiento público de cada país.

Los altos volúmenes de extracción de agua provocan que se produzca más sobreexplotación de los acuíferos que, combinados con las sequías, la desertización, los cambios de clima y el suelo, la contaminación de ríos y los arroyos han inducido a una escasez de agua cada vez más crítica. El cambio climático, en el nivel mundial se origina en la quema de una gran cantidad de combustible (petróleo, gas y carbón), lo que provoca la generación de miles de toneladas de gases de efecto invernadero que se quedan en la atmósfera y, en consecuencia, originan más sequías, huracanes, fríos y calores (Conagua, 2011).

Dentro del PNUMA (2007), se estima que para el año 2025 se prevé que aproximadamente 48 países y cerca de 2,800 millones de habitantes se verán afectados por la escasez de agua, nueve países estarán próximos a sufrir la falta de agua, como por ejemplo China y Pakistán.

En cuanto a la disponibilidad de agua en México, durante los últimos 55 años la población pasó de 25 millones de habitantes en el año 1950 a 103 millones de habitantes al año 2005, es decir se cuadruplicó, lo que ocasionó una disminución de la disponibilidad de agua de 18,035 a 4,416 metros cúbicos por habitante al año, respectivamente (SEMARNAT, 2014).

En la Figura 1.8 se presenta la gráfica de evolución de la disponibilidad de agua en México entre los años 1950 a 2006.

**Tabla 1.3** Países del mundo con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola, industrial y abastecimiento público (CONAGUA, 2011).

No.	País	Extracción total de agua (km <sup>3</sup> /año)	% Uso agrícola	% Uso industrial	% Uso abastecido público
1	India	761.0	90.4	2.23	7.4
2	China	554.1	64.6	23.21	12.2
3	Estados Unidos	478.4	40.2	46.11	13.7
4	Pakistán	183.5	94.0	0.76	5.3
5	Irán	93.3	92.2	1.18	6.6
6	Japón	88.4	62.5	17.87	19.7
7	Indonesia	82.8	91.3	0.68	8.0
<b>8</b>	<b>México</b>	<b>80.6</b>	<b>76.7</b>	<b>9.20</b>	<b>14.1</b>
9	Filipinas	78.9	83.1	9.45	7.4
14	Brasil	59.3	61.8	17.96	20.3
42	Sudáfrica	12.5	62.7	6.05	31.2

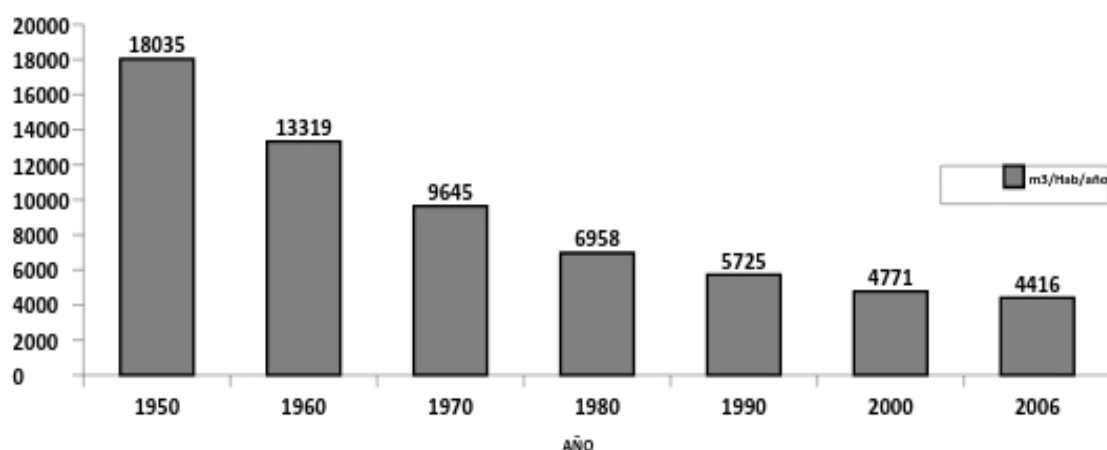


Figura 1.8 Gráfica de Evolución de la disponibilidad del agua en México (CONAGUA, 2011).

En el nivel nacional se ejerce un 17.5% de grado de presión sobre la disponibilidad de agua, se considera que si el porcentaje es mayor que el 40% se ejerce una fuerte presión sobre el recurso. En este caso se considera de nivel moderado (Conagua, 2011)

En la Tabla 1.4 se presenta el grado de presión clasificada en regiones hidrológicas-administrativas. Las regiones hidrológicas-administrativas son clasificadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011) en trece regiones se ha dividido el país.

**Tabla 1.4** Grado de presión sobre el recurso hídrico, por región hidrológico-administrativo.

RHA		Volumen total de agua concesionado (millones de m <sup>3</sup> )	Agua renovable media (millones de m <sup>3</sup> )	Grado de presión (%)	Clasificación del grado de presión
I	Península de Baja California	3420	4667	73.3	Alto
II	Noroeste	7703	8499	90.6	Alto
III	Pacífico Norte	10411	25630	40.6	Alto
IV	Balsas	10704	21680	49.4	Alto
V	Pacífico Sur	1363	32824	4.2	Sin estrés
VI	<b>Río Bravo</b>	<b>9243</b>	<b>12163</b>	<b>76.0</b>	<b>Alto</b>
VII	Cuencas Centrales del Norte	3846	7898	48.7	Alto
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	14479	34533	41.9	Alto
IX	Golfo norte	4854	25564	19.0	Bajo
X	Golfo Centro	4973	95866	5.2	Sin estrés
XI	Frontera Sur	2203	157754	1.4	Sin estrés
XII	Península de Yucatán	2731	29645	9.2	Sin estrés
XIII	Aguas del Valle de México	4658	3513	132.6	Muy alto
<b>TOTAL NACIONAL</b>		<b>80587</b>	<b>460237</b>	<b>17.5</b>	<b>Moderada</b>

Este grado de presión da una idea de la situación que se vive en el país, mientras que en unas regiones se considera muy preocupante ya que en futuros escenarios probablemente se esté viviendo una crisis de agua muy alarmante, como lo refleja en la Región XIII Aguas del Valle de México. En cambio, en otras regiones, tal es el caso de la Frontera Sur, no hay riesgo; es decir, no existe aún un grado de presión preocupante sobre el recurso hídrico.

## **1.10. Hipótesis.**

Es posible realizar la optimización de redes sectorizadas de distribución de agua potable mediante la integración de circuitos en Distritos Hidrométricos Modulados para optimizar la distribución de agua potable, que podrían contribuir a la reducción de las pérdidas de agua no contabilizada o volúmenes de fugas al interior de las redes.

## **1.11. Objetivos.**

### ***1.11.1. Objetivo General.***

Optimizar el funcionamiento de un conjunto de circuitos de la red de distribución de agua potable sectorizada en el municipio de Guadalupe, mediante la integración del distrito hidrométrico modulado “Nueva Exposición”, para mejorar la sostenibilidad hídrica de la distribución de agua potable operada por SADM.

### ***1.11.2. Objetivos Específicos.***

- a. Caracterización del distrito hidrométrico “Nueva Exposición”.
- b. Dimensionamiento del distrito hidrométrico “Nueva Exposición”.
- c. Delimitación del distrito hidrométrico “Nueva Exposición”.
- d. Análisis del Distrito Hidrométrico a partir de los antecedentes de los circuitos de sectorización básica existentes, respetando las especificaciones internas del Organismo Operador.
- e. Evaluar el funcionamiento del Distrito Hidrométrico de Modulación “Nueva Exposición” en la Red de Distribución Sectorizada, basados en la configuración experimental a partir de los caudales de demanda y control de presiones.
- f. Analizar los resultados en la reducción de pérdidas de agua y fugas para determinar incrementos de eficiencia y su impacto en la sostenibilidad hídrica.

## 1.12. Fundamentación del problema.

El Agua Potable, como recurso de gran valor para el ser humano y las sociedades, debe gestionarse de forma eficiente, para lo cual, es imprescindible establecer objetivos específicos en los sistemas de distribución, destacando la eficiencia física y el incremento de su eficiencia hidráulica, con un enfoque en la optimización continua de su operación, para una gestión integral del agua y para alcanzar la sostenibilidad del sistema.

La optimización de las redes de distribución de agua potable, que son garante de presiones suficientes y no excesivas en sus equipamientos y componentes, permite un suministro confiable en calidad y cantidad, que satisface las necesidades de los usuarios, tanto en las pequeñas localidades como en las grandes ciudades y metrópolis.

Lo anterior es fundamentalmente derivado de los cambios socioeconómicos que influyen en el grado de utilización del recurso hídrico disponible, que debe cumplir no sólo requerimientos de calidad suficiente y de disponibilidad, sino que, a su vez, debe ser asequible, en costo, para la población en general, lo cual implica la necesidad de optimización para el logro de la eficiencia en el control la operación y el mantenimiento de los sistemas de distribución de agua potable.

La escasez del agua y su alto costo obligó a la empresa Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, SADM (2007), a implementar un programa de sectorización en el Área Metropolitana de Monterrey (Figura 2.8), que comprendía nueve municipios con 3,200,000 habitantes, un caudal de suministro de 9,827 litros por segundo (Figura 2.9), y un horario de suministro promedio de 21,7 horas al día; con el fin de reducir el agua no contabilizada que en 1998 era del 36.4% del caudal.

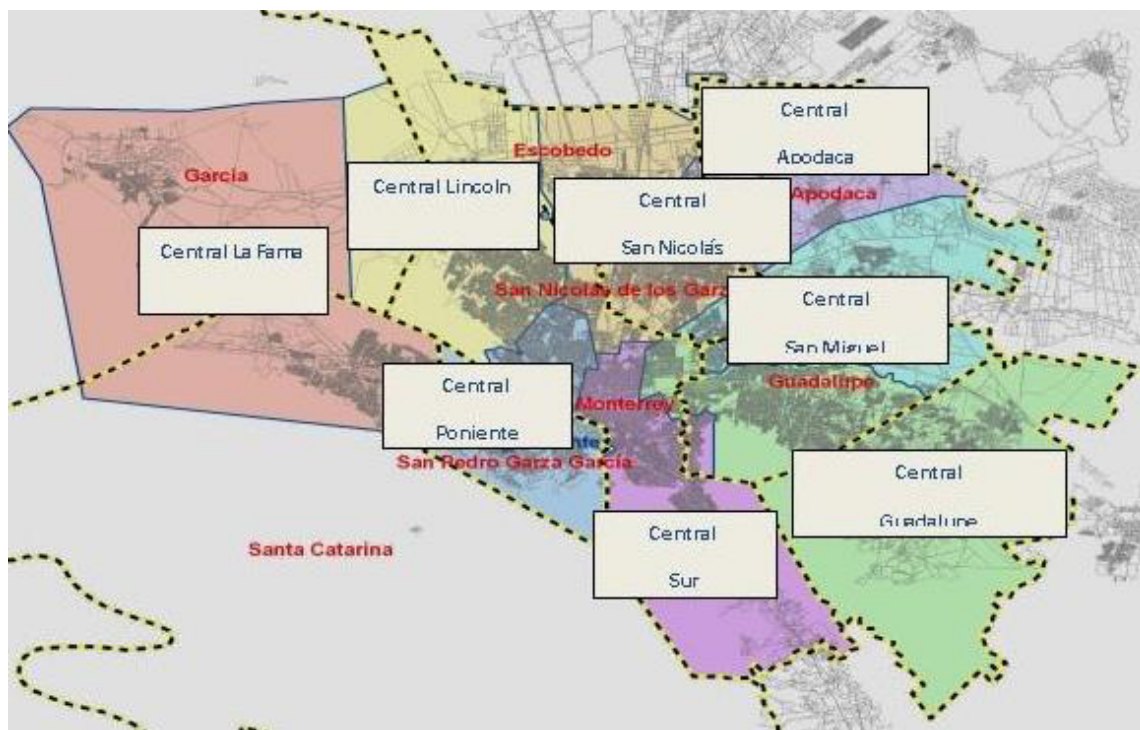


Figura 1.9 Distribución de las centrales operativas en el Área Metropolitana de Monterrey.

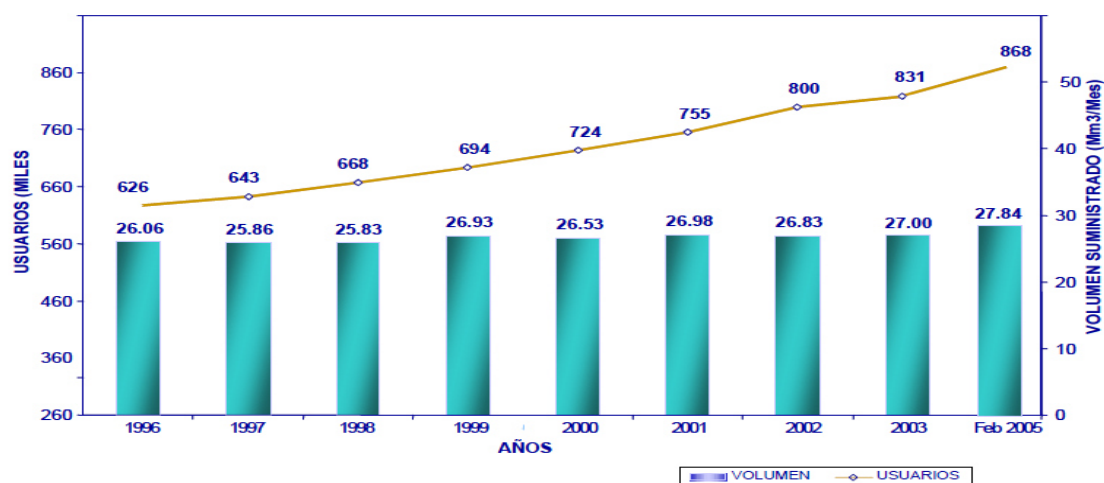


Figura 1.10 Comparativo Crecimiento Usuarios Vs Crecimiento de Demanda AMM (Fuente: SADM 2007).

Sin embargo, del año 2000 al 2015, la red de tubería de agua potable pasó de 6,194 kilómetros y 723,830 conexiones autorizadas con contrato, a 10,480 kilómetros y 1,295,616 conexiones; lo que equivale a casi un 70% de crecimiento en las redes y casi un 80% en conexiones (SADM, 2017); abasteciendo el crecimiento poblacional y de la mancha urbana sin contar con ninguna nueva fuente de abastecimiento y un caudal de suministro que ya supera desde 2015 los 13,000 litros por segundo, con base en su producción, donde los

costos vinculados a ella (potabilización y suministro) durante los últimos años, se han incrementado ampliamente ante el alza del dólar frente al peso.

A septiembre de 2016, el Área Metropolitana de Monterrey, ubicada en una zona donde la disponibilidad del agua es limitada y su clima es extremo, contaba con una cobertura del 99.69% y con 1,318,534 conexiones de agua potable registradas con contrato, (SADM, 2017), cuyos usuarios no han sufrido por casi dos décadas de desabasto de agua potable, y han dejado atrás etapas de epidemias como el cólera; sin embargo, esto no es garantía de que no vuelvan a presentarse problemas de salud pública, dada la fragilidad del recurso hídrico en la región.

Una solución parcial y práctica para mejorar y mantener los resultados de la sectorización ha consistido en agrupar los sectores para obtener balances hidráulicos confiables y un mejor control de presiones y caudales; pero se requiere efectuar análisis más profundos e integrar nuevas tecnologías no aplicadas, sin desintegrar los circuitos sectorizados más pequeños cuando hay que confirmar la existencia de una fuga sospechosa. Todo ello, debe ser tomado en cuenta para la optimización de la red sectorizada que cumpla los objetivos de reducir las pérdidas de agua y mantener la disponibilidad de agua en calidad y cantidad para satisfacer la demanda de la población.

La optimización de circuitos hidrométricos sectorizados orientada a la reducción de pérdidas o fugas de agua en los sistemas de distribución del agua potable es una solución innovadora como herramienta para el logro de una gestión hídrica sostenible en la región.

### **1.13. Alcance.**

Se eligió un grupo de circuitos sectorizados para la integración del Distrito Hidrométrico de Modulación denominado “Nueva Exposición”, ubicado en el Municipio de Guadalupe Nuevo León. El distrito pertenece a La Red Sectorizada del Sistema de Distribución de Agua Potable en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León. Dicha red se encuentra a cargo del organismo operador de los Servicios de Agua y Saneamiento, con cobertura en todo el Estado, denominado, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, la cual es una Institución Pública Descentralizada del Gobierno Estatal.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Área Metropolitana de Monterrey.**

Las acciones ejecutadas por los gobiernos federal, estatal y municipal permitieron que para el año 2008 se lograra una cobertura nacional de agua potable del 90.3%, disminuyendo a 10 millones el número de mexicanos que no cuentan con agua entubada en su vivienda, 7.4 millones menos que en 1990. En las zonas urbanas se presentan los niveles más altos en la cobertura del servicio. Durante 2008 se dotó del servicio de agua potable a más de 700 mil habitantes, logrando una cobertura de 94.3%. En la Tabla 2.1 se muestra la cobertura nacional del agua potable al año 2008 (CONAGUA, 2009).

Ya en 2008, existan 604 plantas de potabilización en operación en el nivel nacional, con una capacidad de 130.9 m<sup>3</sup>/s, que procesan y potabilizan un caudal de 87.3 m<sup>3</sup>/s, principalmente de agua superficial (CONAGUA, 2009).



**Tabla 2.1** Evolución de la cobertura nacional de agua potable, 1990-2008 (INEGI, Censos de Población y Vivienda 1990 y 2000; Censos de Población y Vivienda 1995 y 2005).

Año	Población total en viviendas particulares	Habitantes (millones)			Porcentaje de cobertura
		Con servicio	Sin servicio	Beneficiados	
1990	80.4	63.1	17.4	ND	78.4
1995	90.7	76.7	14.0	13.7	84.6
2000	95.4	83.8	11.6	7.1	87.9
2005	100.0	89.2	10.8	5.4	89.2
2005 a/	100.2	89.8	10.5	0.5	89.5
2006 a/	101.1	90.7	10.4	1.0	89.6
2007 a/	101.9	91.6	10.3	0.9	89.9
2008 a/	102.8	92.8	10.0	1.1	90.3

La Secretaría de Salud, en coordinación con la CONAGUA (2009) y otras entidades de gobierno, establecieron las siguientes normas para regular los sistemas de abastecimiento y distribución del agua potable:

- Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por los sistemas de abastecimiento público.

La Tabla 2.2 presenta las estadísticas de la cobertura de agua potable para el caso de Nuevo León, y se muestran en (CONAGUA, 2007). El Estado tiene un alto porcentaje de cobertura de agua potable, mayor que el 85% de cobertura. Un dato muy importante que resaltar es que existe un cierto porcentaje de agua que no se encuentra contabilizada, que se debe principalmente a la pérdida de agua por fugas en la red de agua potable, entre otros factores.

El Organismo Operador denominado, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) es la Institución Pública Descentralizada del Gobierno Estatal que se encarga de dar el tratamiento y la distribución del agua potable, además del saneamiento en todo el Estado de Nuevo León. Adicionalmente, tiene el objetivo de desarrollar el proyecto de implementación de los Distritos Hidrométricos Modulados, para optimizar la sectorización de la red de agua potable.

**Tabla 2.2** Indicadores del agua a diciembre 2007 en Nuevo León (Conagua. Indicadores del Agua, 2007).

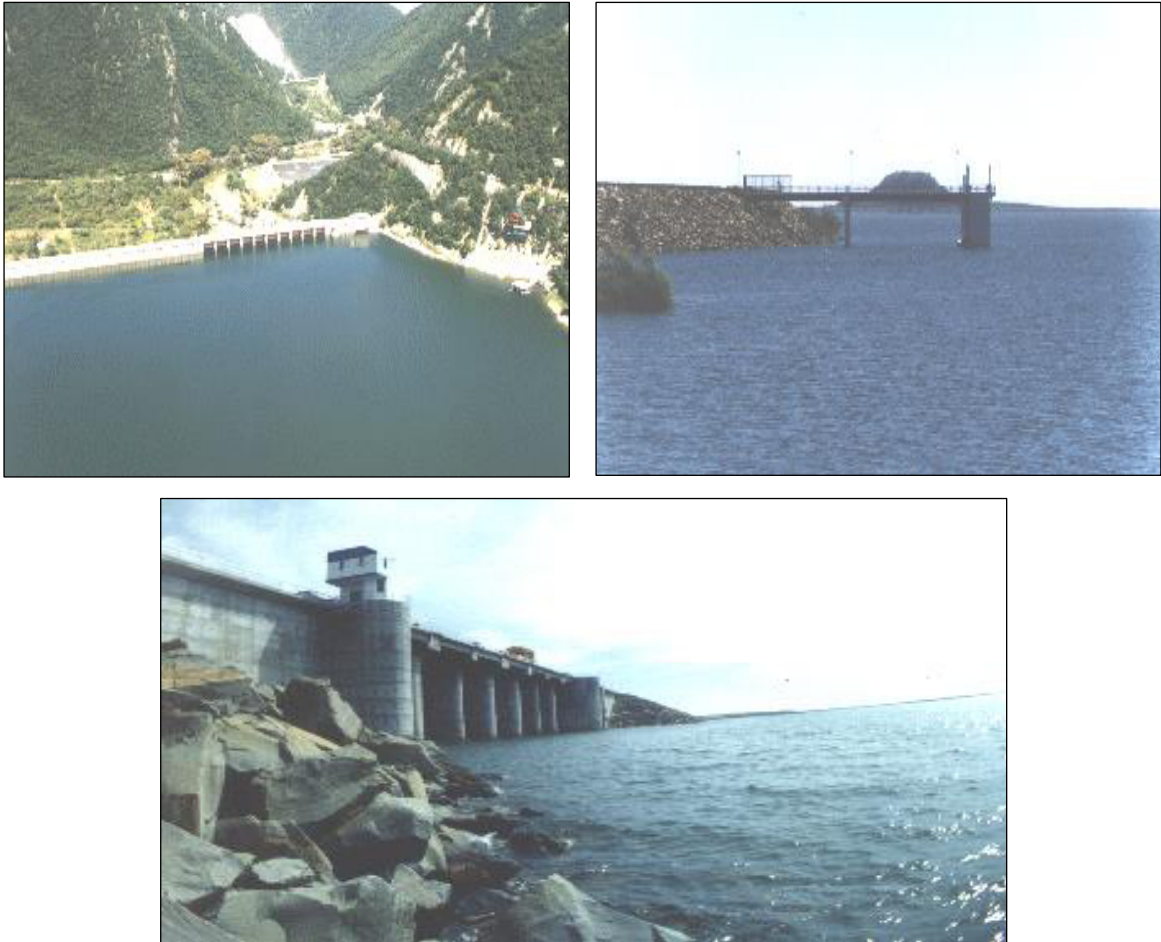
<b>Municipio</b>	<b>Localidad</b>	<b>Cobertura de desinfección (%)</b>	<b>Cobertura de agua potable (%)</b>	<b>Dotación per cápita L/Hab/día</b>	<b>Agua no contabilizada (%)</b>
Allende	Ciudad de Allende	100	96	523	59
Anáhuac	Anáhuac	100	97	423	59
Arambarri	La Ascensión	100	94	492	72
Bustamante	Bustamante	100	99	873	74
Cadereyta Jiménez	Cadereyta Jiménez	100	99	418	55
Carmen	Carmen	100	97	471	53
Cerralvo	Ciudad Cerralvo	100	86	575	61
China	China	100	89	517	56
Ciénega de Flores	Ciénega de Flores	100	90	441	62
García	García	-	89	-	-
Gral. Bravo	General Bravo	100	92	928	58
Gral. Terán	Ciudad General Terán	100	98	974	74
Gral. Zuazua	General Zuazua	100	98	859	73
Hidalgo	Hidalgo	100	91	522	59
Hualahuises	Hualahuises	100	99	682	76
Lampazos de Naranjo	Lampazos de Naranjo	100	98	1,369	81
Linares	Linares	100	95	609	70
Marín	Marín	100	99	911	74
Mina	Mina	100	99	342	54
Montemorelos	Montemorelos	100	98	387	49
Monterrey	Monterrey	100	99	250	25
Pesquería	Pesquería	100	98	547	69
Sabinas Hidalgo	Ciudad Sabinas Hidalgo	100	87	416	52
Salinas Victoria	Salinas Victoria	100	86	396	42
Santiago	Santiago	100	91	449	59
Villaldama	Ciudad de Villaldama	100	99	951	74

En cuanto al suministro de agua potable para el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), se contaba con un abastecimiento en promedio de 13,484 lps al año 2016. En la Figura 2.1 se presenta un esquema de la distribución del agua que abastece al AMM (SADM, 2017).



Figura 2.1 Suministro de agua en el Área metropolitana de Monterrey en el 2016 (SADM, 2017).

Entre las principales fuentes de abastecimiento superficial se encuentran: la presa La Boca, construida en la década de 1960, cuya capacidad es de 39.5 millones de metros cúbicos ( $\text{mm}^3$ ) en la cota 448.54 msnm que es su Nivel de Aguas máximas ordinarias (NAMO); la presa Cerro Prieto, construida en 1984, con una capacidad de 300  $\text{mm}^3$  en su cota NAMO de 282.52 msnm; la presa el Cuchillo, construida en 1996 con capacidad de 1,1233  $\text{mm}^3$  en su cota NAMO de 162.35 msnm. En la Figura 2.2 a, b, c se muestran las presas respectivamente (SADM, 2017a).



*Figura 2.2 a) Presa la boca (SADM, 2017).; b) Presa El Cerro Prieto (SADM, 2017a); c) Presa El Cuchillo (SADM, 2017a).*

Las fuentes de abastecimiento de agua subterránea son 40 pozos profundos que se ubican en los campos de Mina y Buenos Aires, 59 pozos someros y 4 pozos profundos dentro del área Metropolitana; se cuenta con 2 manantiales La Estanzuela y Los Elizondo; con 3 túneles, la Cola de Caballo I y II y San Francisco, y una Galería Filtrante en La Huasteca. En la Figura 2.3 se presenta un esquema del sistema de distribución de la red de agua potable (SADM, 2017a).

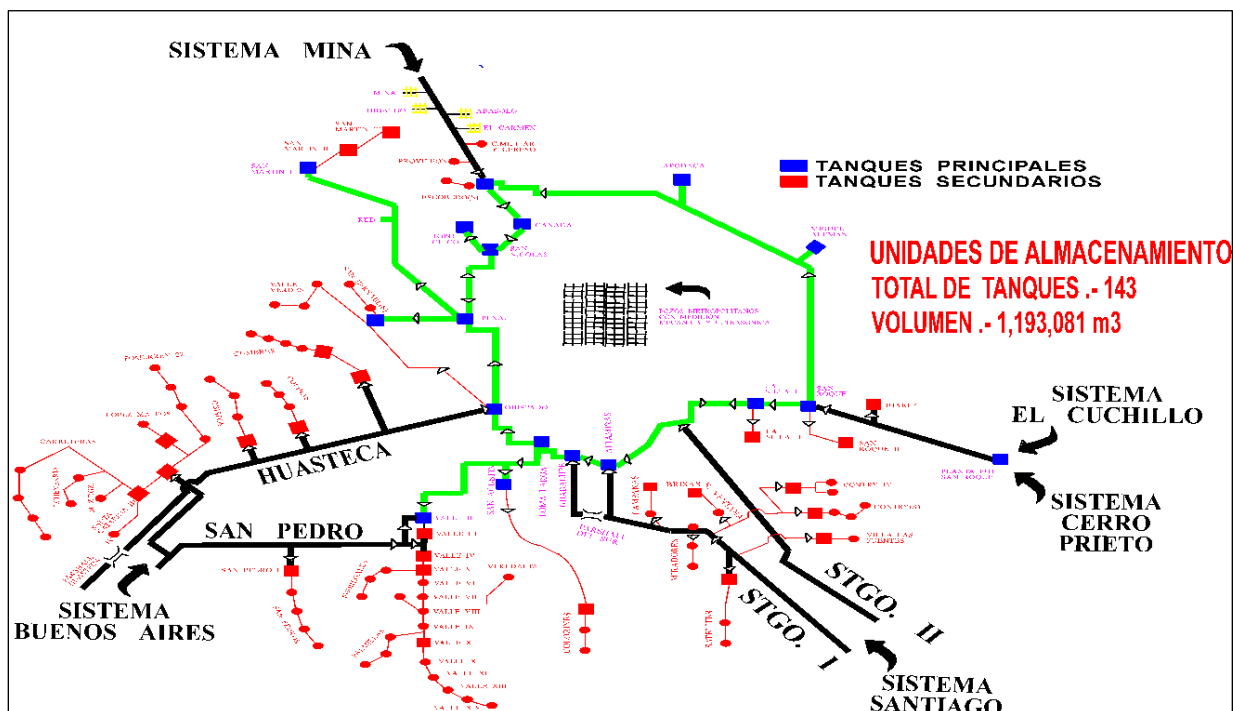


Figura 2.3 Operación hidráulica del sistema de distribución metropolitana (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2017).

## 2.2. Sectorización de la Red de Agua Potable.

La sectorización es un proceso de investigación que consiste en dividir las redes en sectores, que pueden estar aislados entre sí por el cierre de válvulas. Se delimitan zonas que sólo son alimentadas por un punto en el que se instala un macromedidor, para comparar el consumo promedio de la zona contra el obtenido después de cerrar las llaves domiciliarias conforme a lo que indica el Organismo Operador SADM (2017). El Manual de Agua Potable y Saneamiento de la SEMARNAT (2007), del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, propone solo dos etapas sucesivas encaminadas a la modelización de un sistema de distribución de agua:

- Recolectar datos de la red.
- Calibrar el modelo.

Sin embargo, García-Serra & Martínez (1993) proponen 7 etapas más específicas:

- Recopilación de información.
- Esquematización de la red.
- Análisis de los consumos registrados y asignación de los mismos a los diferentes nudos del modelo.
- Reparto de los consumos "no registrados".

- e. Medición de parámetros de la red tales como curvas características de las bombas, cubicación de los depósitos, consignas de las válvulas reguladoras, etc.
- f. Comprobación del modelo inicial, lo que implica procesar el modelo para diferentes estados de la red y realizar mediciones de las variables hidráulicas (presiones y caudales) en el sistema real para las mismas situaciones.
- g. Calibración del modelo inicial en base a las medidas de campo realizadas.

Para el Organismo Operador de Agua, SADM (2017), la sectorización es un proceso largo y absorbe una importante cantidad de recursos humanos y económicos por lo que debe partir de una planeación bien definida. Las etapas que deben seguirse durante la sectorización son:

- a. Adquisición de catastro del sistema de distribución de agua potable.
- b. Considerar el anteproyecto del sistema, definiendo puntos de alimentación y posibles interconexiones controladas para protección de eventualidades.
- c. Diseño e implementación de un sector piloto, incluyendo las válvulas de seccionamiento necesarias, los mecanismos para el control de las presiones, la medición de gastos de alimentación, así como la variación diaria de la demanda, ya sea que ésta sea supuesta o inferida por algunas mediciones.
- d. Calibración de un modelo de simulación hidráulica con base a las mediciones.
- e. Ajustar el proyecto piloto a partir de la modelación, controlando las presiones, midiendo los gastos, y evaluando la relación entre la presión y las fugas.
- f. Ampliación de la experiencia piloto a dos o tres sectores más.
- g. Con los resultados obtenidos, puede evaluarse el proyecto integral de sectorización, con una muy buena aproximación sobre los costos y los beneficios que pueden esperarse, así como los tiempos necesarios.

Con el programa de modulación y sectorización se pretende reducir las pérdidas de agua detectando las fugas y disminuir los niveles de *Agua No Contabilizada*, a la que Bourguett (2013) señala como aquella que se utiliza en algún punto del sistema de distribución, y que el organismo operador no puede cuantificar con exactitud por errores de medición, de facturación y de usos no autorizados; en donde, a su vez, una fuga es un escape físico de agua en cualquier punto del sistema del agua potable, que puede ocurrir en las conducciones, los tanques de almacenamiento, las redes de distribución, las conexiones domiciliarias y dentro de las casas de los usuarios. Para Bourguett (2013), existen dos tipos de fugas, visibles y no visibles:

- a. Las fugas visibles emergen hacia la superficie del terreno o del pavimento. Sin embargo, la fuga puede estar localizada a una distancia considerable del punto donde fue descubierta. La mayoría de las fugas visibles son descubiertas por los lecturistas, los operadores y los usuarios. Los derrames en los tanques son consideradas fugas visibles.



- b. Las fugas no-visibles se infiltran en el suelo o pueden drenar hacia las tuberías del alcantarillado, los canales, los ríos o los arroyos.

Según el lugar donde ocurren las fugas, estas pueden clasificarse en seis categorías:

- a. **Fugas en los depósitos:** ocurren por agrietamiento de las estructuras o el rebose de los niveles de agua. En general, son de gran magnitud, esporádicas y de corta duración. En este caso se deben realizar inspecciones del estado físico de los tanques de almacenamiento y dar mantenimiento a las válvulas de control de los niveles (Figura 2.4).



Figura 2.4 Fugas en depósitos (Fuente: SADM).

- b. **Fugas en las conducciones:** líneas principales y secundarias. - Sus caudales aproximados están en un intervalo de 250 ml hasta 10 lps y, en ocasiones, hasta más. Las fugas se deben al efecto de corrosión que usualmente inicia con fallas pequeñas, pero que puede crecer con el tiempo hasta causar fallas muy grandes.

También estas son producidas por cargas superficiales, instalación defectuosa y defectos de fabricación del material de los tubos. El golpe de ariete debido a cambios bruscos en la operación del sistema provoca fugas de esta categoría (Figura 2.4).



Figura 2.5 Fugas en conducciones (Fuente: SADM).

- c. **Fugas en conexiones domiciliarias:** estas fugas tienen caudales entre 20 a 250 ml/s en promedio y pueden presentarse como rajaduras, perforaciones, corte o piezas flojas. El primero y cuarto tipo de falla se asocia con la mala calidad de los materiales empleados o una instalación deficiente; el segundo y tercer caso, a factores externos (Figura 2.5).



*Figura 2.6 Fugas en conexiones domiciliarias (Fuente: SADM).*

- d. **Fugas en el cuadro del medidor:** normalmente son goteos que representan un caudal de 50 a 100 L/h (menores que 20 mL/s y son básicamente producidas por piezas flojas y falta de hermeticidad del micromedidor (Figura 2.6).



*Figura 2.7 en el cuadro al medidor (Fuente: SADM).*

- e. **Fugas de la caja de válvulas:** varían entre 200 mL/s hasta 1 L/s. Se producen por rotura de empaques o volantes de las válvulas. Las fugas pueden ocurrir en las válvulas reductoras de presión, o reguladoras de presión, de aire, de compuerta, etc. (Figura 2.6).





Figura 2.8 Fugas de cajas de válvulas (Fuente: SADM).

- f. **Fugas intradomiciliarias:** principalmente se presentan en los herrajes de los sanitarios (wc) o bien en empaques de regaderas y llaves (Figura 2.7).



Figura 2.9 Fugas intradomiciliarias (Fuente: SADM).

En general, para SADM (2007), las principales causas de ocurrencia de fugas son:

- a. Presión alta.
- b. Corrosión externa.
- c. Corrosión interna.
- d. Efectos de tráfico de vehículos.
- e. Mala calidad de los materiales y accesorios.
- f. Mala calidad de la mano de obra.
- g. Avanzada edad de las tuberías.
- h. Movimientos del suelo (sismo).

Como se mencionó anteriormente, el “agua no-contabilizada es agua utilizada en algún punto del sistema, pero que el organismo operador no puede cuantificar con exactitud el volumen correspondiente” (Borurgett, 2003). Básicamente, el agua no-contabilizada puede ser provocada por:

- a. Errores de medición.
- b. Errores de facturación.

## c. Usos no autorizados.

El agua no-contabilizada se determina de la siguiente manera:

$$\text{Agua no contabilizada} = \frac{(\text{Volumen producido} - \text{Volumen facturado})}{\text{Volumen producido}}$$

De esta forma, según la CONAGUA (2007), el agua no contabilizada puede separarse el agua perdida en fugas, en tomas no autorizadas o clandestinas, y en volumen de agua que no se contabiliza por estimaciones erróneas (cuando no se mide) o por falta de precisión en los medidores de caudal. La recuperación de pérdidas se puede realizar después de hacer un análisis que resuma los problemas de fugas que se originan por:

- Desconocimiento de técnicas.
- Falta de financiamiento.
- Ausencia de programas sistemáticos de reparación y control de pérdidas.
- Errores en la estimación de la existencia real de fugas (no hay auditoría del agua).
- Escaso adiestramiento y capacitación.

Como se puede observar en la Figura 2.8, para la CONAGUA (2007), recuperar agua del 50% al 30% tendría un costo inferior a recuperar del 30% al 20%, e inferior a recuperar del 20% al 15% y más allá del valor límite del 15%, los costos de cada 1% recuperado se incrementan notablemente.

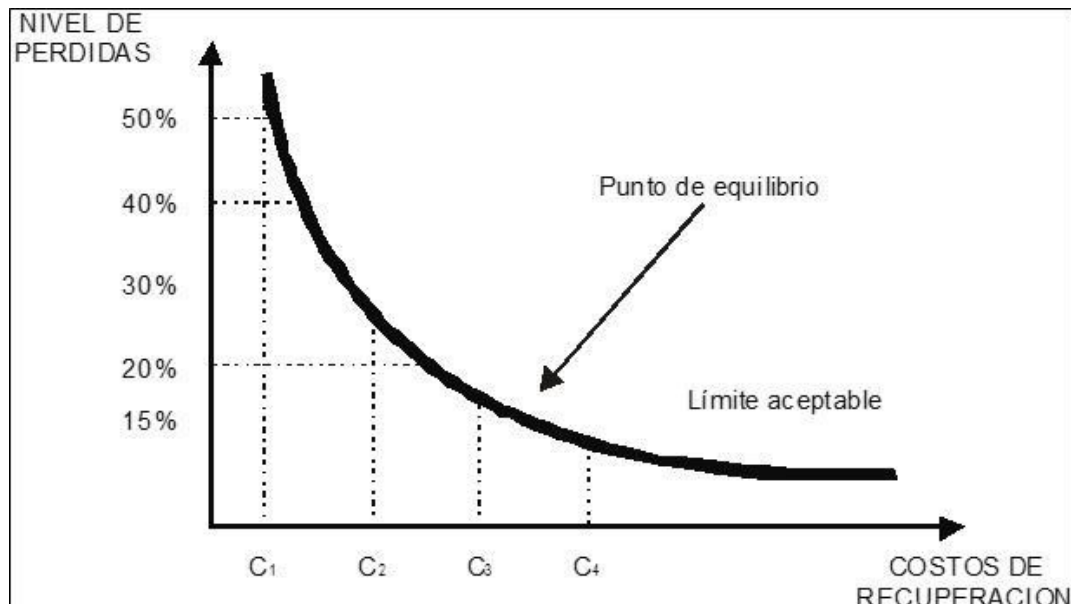


Figura 2.10 Relación Pérdidas vs Costo de Recuperación. (Fuente CONAGUA, 2007).

Por lo tanto, se deduce que, reparar o rehabilitar los daños en las tuberías que ocasionan las fugas o mejorar la medición y facturación, puede ser conveniente y rentable hasta cierto nivel de pérdidas, sobre todo si la relación beneficio de la recuperación de agua-costos del trabajo ejecutado es mayor que uno. Cualquiera que sea el origen del agua perdida, ésta podrá reducirse notablemente en la medida en que se lleve a cabo el control de presiones sobre una óptima modulación o sectorización, pues de ésta se derivará el balance hidráulico y la detección de las zonas con mayores problemas de pérdidas.

### **2.3. Red sectorizada de distribución de agua potable**

La sectorización iniciada en 1998 se convirtió en un proceso dinámico, que a su vez dificultó la función técnico-administrativa de la red sectorizada, ya que para la pronta respuesta y atención de fugas, así como para el análisis de los mínimos nocturnos, convino establecer en sectores relativamente pequeños, en tanto que para efectuar balances globales conviene definir sectores estables de mayor tamaño.

La red sectorizada de abastecimiento de agua potable del AMM, se encuentra conformada por más de 2,500 circuitos sectorizados básicos, que integran un promedio de 500 conexiones cada uno. Sin embargo, no todo el sistema de distribución de agua potable se encuentra sectorizado, ya que el crecimiento de la metrópoli es muy dinámico y, a su vez, existen zonas donde no ha podido ser implementada la sectorización debido a las condiciones socioeconómicas, políticas y de orden técnico, inclusive.

### **2.4. Distrito hidrométrico modulado Nueva Exposición**

Una red sectorizada puede ser cambiante a través del tiempo y sus modificaciones en equipamientos, por lo cual, cada sector posee un periodo de vida útil. En la red de distribución sectorizada del AMM, a la Integración de circuitos sectorizados (CS's) de características comunes y ubicación adyacente, alimentados por una sola entrada se le denomina Distrito Hidrométrico; el cual, para su control, seguimiento y ajuste a través del tiempo, requiere ser modulado en función de la demanda total integrada a partir del análisis hidráulico, y mediante equipamientos de control automático que permitan mantener en control las curvas de modulación de eficiencia Distrito Hidrométrico Modulado (DHM). La red sectorizada de la Colonia Nueva Exposición ubicada en el Municipio de Guadalupe se conforma por 23 circuitos (Tabla 2.3) sectorizados y adyacentes, que fueron integrados en un Distrito Hidrométrico Modulado, cuyas características se mencionan a continuación.

**Tabla 2.3** Circuitos que conforman el Distrito Hidrométrico Modulado Nueva Exposición.

No	CODIGO	CLAVE	UBICACIÓN	No. DE MEDIDORES	Nº DE TOMAS
1	3056	LSI-AZ-02	COL. AZTECA CHICHIMECA OTE. C/C AV. AZTECA	472	475
2	3057	LSI-AZ-03	COL. AZTECA TEPANECA C/C AZTECA	190	193
3	3058	LSI-AZ-04	COL. AZTECA C/C TEPANECA	935	945
4	3059	LSI-AZ-05	COL. AZTECA JOSE MIGUEL ZARAGOZA C/C COLIMA	490	496
5	3060	LSI-AZ-06	COL. AZTECA FUERTE DE GUADALUPE C/C APATZINGAN	360	373
6	3061	LSI-AZ-07	COL. AZTECA NAHUATL C/C TIZAPAN	463	463
7	3062	LSI-AZ-08	COL. AZTECA COLIMA C/C ZARAGOZA	679	692
8	3063	LSI-AZ-09	COL. AZTECA CHEYENE OTE. C/C COMANCHE	FUSIONADO AL 3058	
9	3064	LSI-AZ-10	COL. NUEVA EXPOSICIÓN PLUTARCO ELIAS CALLES C/C EINSTEIN	263	263
10	3075	LSI-IZ-05	COL. IGNACIO ZARAGOZA TIXTLA C/C JUAN ALVAREZ	FUSIONADO AL 3076	
11	3076	LSI-IZ-06	COL. IGNACIO ZARAGOZA TIXTLA C/C PLAN DE IGUALA	1051	1085
12	3084	LSI-RRIO-01	COL. RIBERAS DEL RÍO AV. DEL RÍO C/C AV. PLUTARCO ELÍAS CALLES	240	243
13	3085	LSI-RRIO-02	COL. RIBERAS DEL RÍO LAS ADJUNTAS C/C AV. DEL RÍO	263	266
14	3086	LSI-RRIO-03	COL. RIBERAS DEL RÍO FONTANA C/C AV. PLUTARCO ELÍAS CALLES	373	384
15	3087	LSI-RRIO-04	COL. RIBERAS DEL RÍO AV. FONTANA C/C BAHÍA	219	219
16	3088	LSI-RRIO-05	COL. RIBERAS DEL RÍO PENINSULA C/C AV. PLUTARCO ELIAS CALLES	192	195
17	3089	LSI-RRIO-06	COL. RIBERAS DEL RÍO ROCÍO C/C AV. PLUTARCO ELÍAS CALLES	209	213
18	3090	LSI-RRIO-07	COL. RIBERAS DEL RÍO ROCIO C/C PUERTO	854	866
19	3094	LSI-VICGE-01	COL. VICENTE GUERRERO 18 DE MARZO PTE. C/C JUAN ALVAREZ	375	392
20	3156	LSI-SA-02	COL. SAN AGUSTIN 18 DE MARZO OTE C/C JUAN ALVAREZ	482	487
21	3195	SRI-RRIO-08	COL. RIBERAS DEL RIO DELTA C/C AV. PLUTARCO ELIAS CALLES	485	500
22	3317	SRI-21ENE-01	COL. VEINTIUNO DE ENERO, AV. PLUTARCO ELIAS CALLES C/C 8 DE MAYO	669	692
23	3427	LSI-MOR-01	COL. JOSE MARIA MORELOS; TOMA DE OAXACA C/C AV. LAZARO CARDENAS	470	470
TOTAL				9734	9912

FUENTE: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2017.

El área de estudio se encuentra en el municipio de Guadalupe que, a su vez, está dentro de la llamada AMM (Figura 2.11). Nuevo León colinda con Texas (Estados Unidos), con los estados fronterizos de Coahuila y Tamaulipas, y por el sur con Zacatecas y San Luis Potosí. El AMM se extiende al pie de la Sierra Madre Oriental, con elevaciones que van desde menos de 400 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta 700 msnm o más que constituyen un factor relevante en lo que respecta a la provisión de los servicios urbanos de agua.



# CAPÍTULO 3

## MÉTODOS

### 3.1. Definiciones

La Sectorización consiste fundamentalmente en la división de una red en sectores hidráulicos de menor tamaño, con control al ingreso y la salida de sus caudales; recomendablemente con medición, a fin de poder facilitar la práctica de balances hidráulicos en función de un tiempo establecido, y mediante su comparación, para determinar el grado de eficiencia física del mismo. Este método puede evolucionar para enfrentar los retos para la optimización de los sistemas de distribución del agua potable, donde se requiere incorporar nuevos componentes, materiales y métodos tecnológicos que permitan el logro de los objetivos específicos.

La Sectorización de la Red de Distribución de Agua Potable en el Área Metropolitana de Monterrey fue sin duda uno de los principales logros en la gestión de su infraestructura, lo cual, a su vez ha permitido que sea una de las pocas metrópolis en México que tienen el suministro de agua potable las 24 horas del día, sin interrupciones programadas denominadas “tandeos” desde el año 2000, fecha desde la cual, hasta la fecha, no se ha padecido de una “Crisis de Agua”.

#### **3.1.1. Almacenamiento**

Se refiere al tanque almacenador Figura 3.1 que se usa para asegurar la cantidad y la presión del agua disponible en la red. Según las condiciones del terreno, se pueden construir superficiales o elevados, disponen de tubos separados de entrada (línea de conducción) y salida (línea de abastecimiento). El tanque debe tener una válvula de altitud, la que se configura para que cierre en el nivel especificado, además de un rebosadero o demasías con la misma capacidad de la tubería de llenado; esto en caso de que la válvula falle.

Un tanque de almacenamiento dispone de una capacidad para:

- Regular un abastecimiento constante de la fuente de agua y regular la demanda variable de la zona de servicio. Esto permite que la fuente de abastecimiento ya sea una planta potabilizadora o una bomba, trabaje siempre a gasto constante; esto eleva la eficiencia del sistema. La capacidad de almacenamiento requerida se obtiene a partir de las fluctuaciones de la demanda horaria en el día de máxima demanda.
- Combatir incendios, que depende directamente del tamaño de población a servir.
- Emergencias por fallas de energía, en instalaciones de conducción o de bombeo.

Los tanques de regulación permiten:

- Regular las presiones de la red y regular las variaciones de la demanda, así como mejorar el servicio para los usuarios.
- Elevar la presión en los puntos lejanos de los tanques de almacenamiento.
- Regular las cargas de las bombas, que mejora la operación y la eficiencia de las bombas.

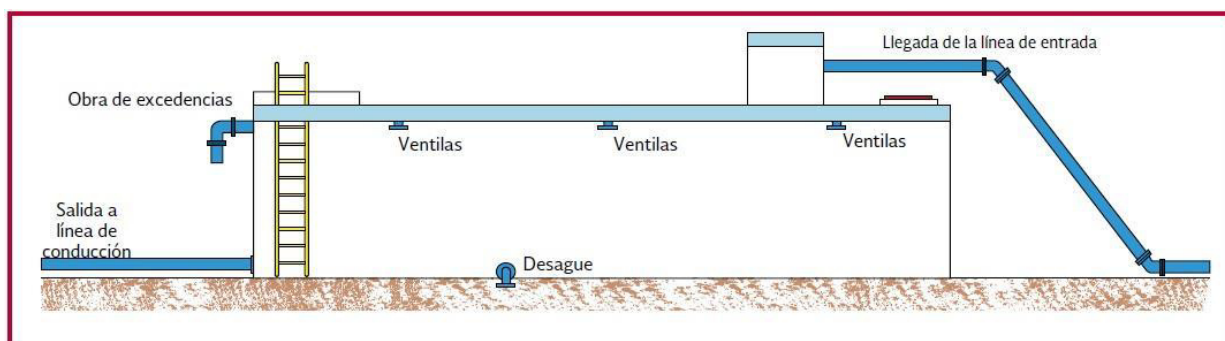


Figura 3.1. Componentes del tanque (CONAGUA, 2015).

### 3.1.2. Macromedidor

Los macromedidores de flujo se instalan preferentemente en la llegada o en la salida del tanque, en la entrada de cada circuito y en la entrada del Circuito Hidrométrico Modulador con especial cuidado en las recomendaciones del fabricante en cuanto a distancias aguas arriba o aguas abajo. Igualmente se debe procurar que no haya interferencia o cambios de dirección del flujo.

### 3.1.3. Alimentador

El alimentador es la tubería que proviene de la fuente de abastecimiento, ya sea por bombeo o por gravedad y su función es suministrar al tanque el agua necesaria para ser distribuida a los usuarios. La línea de conducción se diseña con el gasto máximo diario  $Q_{md}$ , la red y la línea de distribución conducen un mayor gasto durante las horas de mayor demanda,

mientras que la de conducción un gasto menor. El abastecimiento está asegurado gracias a la reserva que se tiene en el tanque.

#### **3.1.4. Red de distribución primaria**

De acuerdo con la función de distribuir el agua a los usuarios se puede dividir en red primaria y red secundaria. En el caso de la primaria, es la tubería con diámetros mayores o igual que 12 plg que conduce el agua desde el tanque hasta el punto donde inicia su distribución en diámetros menores.

#### **3.1.5. Red de distribución secundaria**

La red secundaria, distribuye el agua propiamente desde la unión de la red primaria hasta la toma domiciliaria. Estas suelen tener válvulas tanto en las conexiones de la red primaria como en los cruceros de la secundaria, y estas tuberías son de diámetros iguales o menores que 10" y mayores o iguales que 4".

#### **3.1.6. Conexión a usuarios**

Se les hace la conexión de la tubería secundaria hasta el límite de su propiedad mediante una abrazadera, una llave de inserción y un ramal (cobre o plástico), pie derecho, material galvanizado, llave de control y medidor para su facturación. Las finalidades del uso segun los usuarios pueden ser: para consumo doméstico, publico, comercial, industrial y condiciones extraordinarias como extinguir incendios.

### **3.2. Funcionamiento del sistema sin la implementación de circuitos**

Anteriormente y hasta 1998, el organismo Operador de Agua, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., manejaba y controlaba el suministro a los usuarios de agua potable mediante un sistema denominado "Zonas de Presión" que consiste en delimitar topográficamente las zonas de presión de cada tanque de abastecimiento, cumpliendo siempre con la presión mínima requerida para el usuario que es de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ , esto con el fin de asegurar que el agua suba sin problemas, a un segundo o tercer piso. En cuanto a presión máxima, se recomienda no tener presiones mayores que  $4.0 \text{ kg/cm}^2$  ya que la red se vuelve más susceptible a presentar fugas. Además, en el caso de presentar fuga en alguna tubería, entre mayor sea la presión es mucho mayor el volumen de agua que tira. En el caso del usuario, al abrir la llave con una elevada presión el volumen de agua que puede desperdiciar es mayor.





Figura 3.2. Zona de Presión “La silla” (Fuente: SADM, 2017)

Para la determinación de la zona de presión se puede ver el ejemplo de la Figura 3.2, el que se tiene el tanque La Silla I con una elevación de 536 m.s.n.m., el polígono señalado con color azul sería la zona de Presión que tiene una cota mínima de 469 m.s.n.m. y una cota máxima de 518 m.s.n.m.. Para cumplir el criterio de presión mínima se puede calcular con la diferencia de cotas entre el tanque y la cota máxima de la zona. Quedaría lo siguiente:

$$P_{\text{mínima}} = 536 \text{ m} - 518 \text{ m} = 18 \text{ mca (metros columna de agua)}$$

que si se convierte a  $\text{kg/cm}^2$  quedaría la presión de 1.8  $\text{kg/cm}^2$  superior al mínimo admisible de 1.5  $\text{kg/cm}^2$ . En cuanto a la presión máxima, se tendría que calcular la diferencia de cotas entre el tanque y la cota mínima presentada en la zona de presión. Quedaría lo siguiente:

$$P_{\text{máxima}} = 536 \text{ m} - 469 \text{ m} = 67 \text{ mca (metros columna de agua)}$$

Que es igual a 6.7  $\text{kg/cm}^2$  la cual es superior a la admisible. Para bajar esta presión y que sea admisible se construyen tanques que sirven como rompedores de presión o en su caso, se instala una válvula reguladora de presión, para suministrar la presión máxima prevista.

En la Figura 3.3 se muestra el diagrama de flujo del sistema de abastecimiento por “Zonas de Presión”, que se explica a continuación.

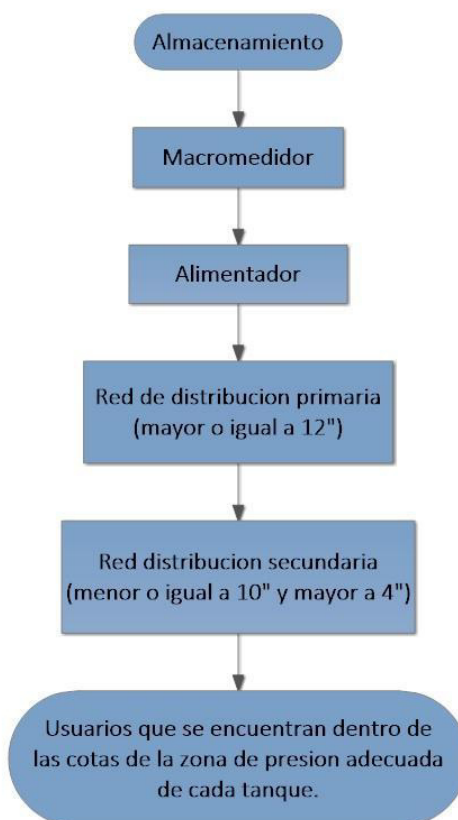


Figura 3.3 Diagrama de flujo del sistema de abastecimiento por "Zonas de Presión" (Fuente: SADM, 2017)

### 3.3. Funcionamiento del sistema con la implementación de circuitos

Desde 1998 y hasta 2016, el organismo operador de Agua, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., comenzó el proceso de sectorización inicial que consistió en trabajar las ocho centrales operativas de SADM, distribuidas en el área metropolitana de Monterrey con dos frentes de trabajo; cada una para efectuar la división de sus redes en "Circuitos" Sectorizados que incluían alrededor de 500 tomas cada una, a fin de poder lograr un mejor control de la distribución, que apoyados por la instalación de medidores de mayor diámetro de 4" hasta 8" de diámetro, en función de la demanda, con lo que se logró la comparación entre la micro medición y la medición del sector.

Se realizan pruebas de hermeticidad al detectarse valores diferenciales superiores al 15%, entre el Caudal Promedio del circuito sectorizado, respecto al caudal mínimo durante la prueba de hermeticidad. Se efectuaba una serie de acciones para reducir la pérdida hasta lograr que el circuito entrara en control, lo que se replicó hasta dividir la red en casi 2,500

circuitos sectorizados a 2015, que permitieron controlar las pérdidas de agua no contabilizada y por fugas y mantener la demanda, a pesar del crecimiento Figura 3.4.



*Figura 3.4 Circuitos en la zona de estudio (Fuente: SADM, 2017)*

La sectorización es un proceso largo que absorbe una importante cantidad de recursos humanos y económicos, por lo que debe partir de una planeación bien definida. En seguida se resumen las etapas que deben seguirse durante la sectorización (CONAGUA, Sectorización en redes de agua potable, 2007).

- a) Delimitación del circuito en planos generales.
- b) Solicitud y revisión del padrón de usuarios del sector.
- c) Revisión del circuito en el campo.
- d) Instalación o cambio de válvulas.
- e) Reubicación y cambio de medidores.
- f) Detección de fugas.
- g) Construcción de la caja de válvulas para medidor.
- h) Reparación de fugas.
- i) Instalación de un medidor general.
- j) Prueba del circuito.

En la Figura 3.5 se muestra el diagrama de flujo del sistema de abastecimiento mediante la Sectorización, en la que se reducen las pérdidas de agua detectando fugas y disminuyendo los volúmenes de agua no contabilizada.

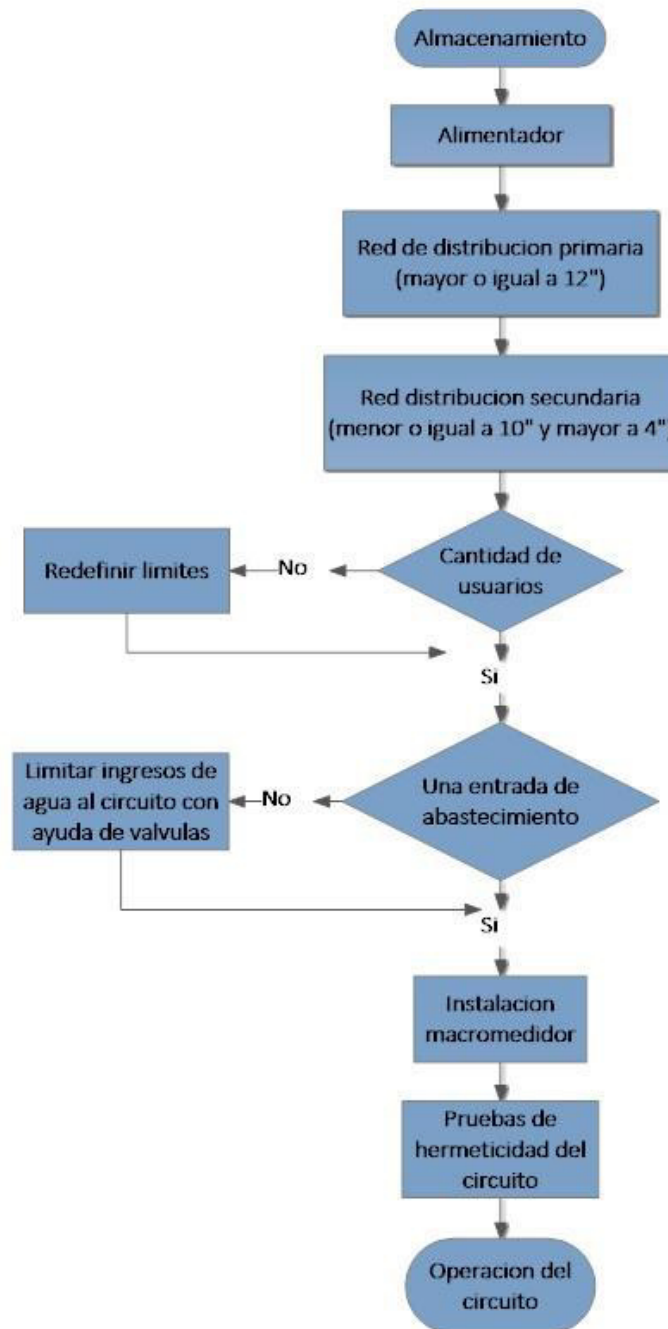


Figura 3.5 Diagrama de flujo de la Sectorización (Fuente: SADM, 2017)

### 3.3.1. Proceso de sectorización

Se determinaron diez etapas de proceso de sectorización y son las siguientes:

- Delimitación del circuito en planos generales.
- Solicitud y revisión del padrón de usuarios del sector.
- Revisión del circuito en el campo.



- d) Instalación o cambio de válvulas.
- e) Reubicación y cambio de medidores.
- f) Detección de fugas.
- g) Construcción de la caja de válvulas para medidor.
- h) Reparación de fugas.
- i) Instalación de un medidor general.
- j) Prueba del circuito.

### **3.3.1.1. Delimitación del circuito en planos generales.**

Actividad que consistió en marcar en un plano a escala 1:2000, los límites de cada circuito, considerando los siguientes factores:

- a) *Contar con planos actualizados y que la información sea 100% confiable.*
- b) *Determinación del tamaño del circuito.*

El tamaño del circuito se determina con 500 tomas aproximadamente, con el propósito de tener un sector manejable al momento de realizar la prueba y, además para dar mantenimiento dentro del circuito y, al ser necesario, al cortar el suministro, que el área afectada no sea tan grande.

- c) *Consideración de límites naturales y artificiales*

En este caso, los límites naturales son representados por las zonas de presión de los tanques de almacenamiento. En algunas ocasiones, con la irregularidad de la topografía puede ser el caso y la necesidad de tener circuitos de hasta 120 tomas. En los límites artificiales se consideraron las avenidas principales o de alto flujo vehicular. Los factores que se tomaron en cuenta fue evitar cruces de red hidráulica, por lo complicado del mantenimiento; así también, cuando se tienen límites muy grandes, es conveniente reducir el tamaño del circuito y hacer lo contrario cuando se tienen lotes pequeños

- d) *Identificación en un plano el punto de alimentación y medición.*

En este caso se considera que el diámetro de la tubería seleccionada deberá ser tal, que garantice el suministro del sector y de preferencia se buscará que éste salga de una tubería alimentadora del sector. En este mismo punto se construirá la caja de válvulas para instalar el medidor general.

- e) *Identificación de válvulas, hidrantes y desagües existentes.*

La existencia de hidrantes y desagües dentro de los circuitos será muy importante, debido a que, con la formación de circuitos, se generarán puntas en la tubería y esto posiblemente genere azolves o retención de sólidos, lo cual puede provocar contaminación en la red; por lo que los desagües deberán estar ubicados estratégicamente, para que periódicamente se haga la limpieza a la red.

### **3.3.1.2. Solicitud y revisión del padrón de usuarios del sector.**

Una vez que se determinó el circuito, se solicitó a la gerencia comercial correspondiente, el padrón de usuarios del sector a revisar.

Posteriormente, el foliador realiza la verificación de campo del padrón de usuarios, donde valida que todos los clientes estuvieran debidamente regularizados y, al final de esta etapa, los resultados pudieran detectar las primeras tomas clandestinas.

### **3.3.1.3. Revisión del circuito en el campo.**

Antes de iniciar los trabajos físicos en circuitos, se tuvo la necesidad de realizar las siguientes actividades:

- a) *Notificación a los usuarios.* Se implementó una campaña de comunicación a través de boletines en los medios de comunicación y volantes que se entregaron diariamente en los sectores donde se estaba trabajando. Esto permitió que la gente estuviera enterada y se preparara con lo indispensable, ya que los trabajos tienen un tiempo aproximado de 2 horas de duración
- b) *Notificación a las autoridades.* Debido a que se hacen zanjas en puntos muy cercanos (cambiar válvulas, construir caja y reubicar medidor), se empezó a tener problemas con los usuarios y las autoridades municipales, para lo cual fue necesario una relación estrecha y eficiente del tiempo de tapado
- c) *Verificación de existencia de materiales.* Antes de iniciar los trabajos en forma, es necesario saber si se cuenta con el material suficiente en los almacenes, para lo cual fue necesario hacer adquisiciones en grandes volúmenes.
- d) *Revisión del circuito en el campo.* Se consideraron los siguientes conceptos:
  - ✓ Verificación de la existencia de las válvulas que se indicaban en el plano y de no estar visibles, se procedió a su localización
  - ✓ Realización de pruebas de funcionamiento de válvulas. Para esas pruebas se debe asegurar el sellado hermético, para lo cual deberá trabajarse la válvula (se abre y se cierra), al momento de estar cerrada, no deberá escucharse ningún ruido y en caso de existir alguna duda, se tomará la decisión de cambiarla.
  - ✓ Revisión de la ubicación de la caja de las válvulas. El período de construcción de la caja es de aproximadamente de 7 días se eligieron los lugares más apropiados; es decir, los que causen menores molestias a los posibles usuarios.

### **3.3.1.4 Instalación o cambio de válvulas.**

Con las cuadrillas, se procedió a realizar el cambio o la instalación de la válvula, según se requería. En promedio, se cambiaron 8 válvulas por circuito y la forma de realizar el trabajo, era preparar 3 ó 4 válvulas, y aprovechar el corte del suministro para hacer el cambio al mismo tiempo, con el propósito de afectar lo menos posible al usuario.

### 3.3.1.5 Reubicación y cambio de medidores.

Se contrató a un ingeniero de cada una de las 8 centrales operativas para que supervisara los trabajos de reubicación y los cambios de medidor.

### 3.3.1.6. Detección de fugas.

- a) **Revisión de circuitos pitométricos.** Se le proporcionó a la cuadrilla que iba a realizar la revisión un plano donde aparecían los límites del circuito. Para evitar confusiones, se resaltó en el plano cada tramo de las calles que iban a ser revisadas, de modo que la cuadrilla de campo no tuviera dudas al respecto (Figura 3.6).

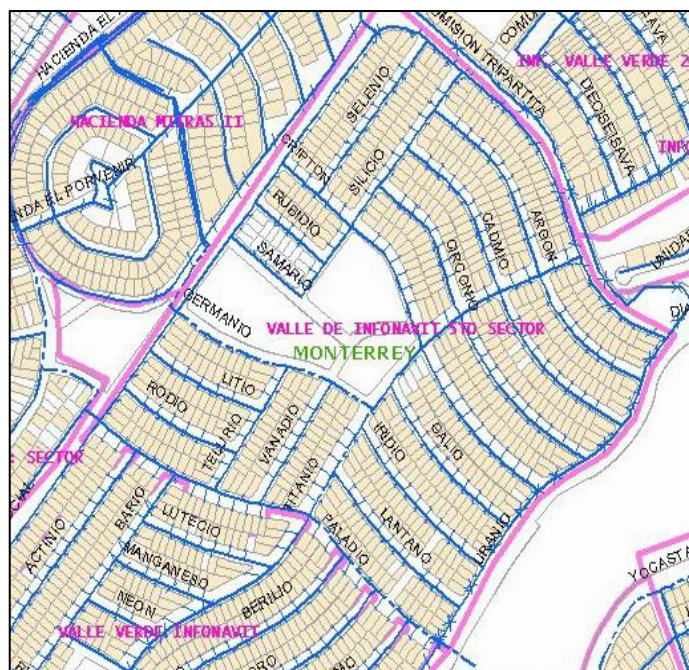


Figura 3.6 Planos para revisión.

- b) **Revisión del circuito para detectar fugas.** El trabajo consistió en realizar una revisión del circuito mediante las técnicas y los equipos de detección de fugas disponibles, registrando cada fuga localizada para proceder a su reparación. El procedimiento de inspección se llevó a cabo formando equipos de dos personas y realizando el recorrido una a cada lado de la calle y revisando cada tramo marcado en el circuito. Se utilizó el equipo de detección de fugas que se tuvo al alcance, tales como:

- ✓ Equipos mecánicos como geófonos varillas, etc.
- ✓ Equipos electroacústicos. Existen diferentes marcas y tipos, pero todos constan de una unidad electrónica, audífonos, micrófono de piso, micrófono de contacto y cables.
- ✓ Equipos correladores. Este tipo de equipos utilizan una unidad correladora y radios transmisores, existen de diferentes marcas y tipos

- ✓ Equipos prelocalizadores. Este tipo de equipos constan de sensores que se dejan instalados en contacto con la red y que registran el sonido en un periodo de tiempo determinado y posteriormente se analizó la información con un equipo que cuenta con el software apropiado para determinar la existencia de fugas.

### 3.3.1.7 Construcción de la caja de válvulas.

Con el propósito de monitorear el gasto en el circuito, fue necesario construir una caja de válvulas, cuyas dimensiones son en promedio 3.0 m. de largo, 2.0 m. de ancho y 1.60 m. de profundidad (Figura 3.7).



Figura 3.7 Construcción de la caja de válvulas.

Se implementaron las siguientes especificaciones para la construcción de la caja de válvulas (Figura 3.8).

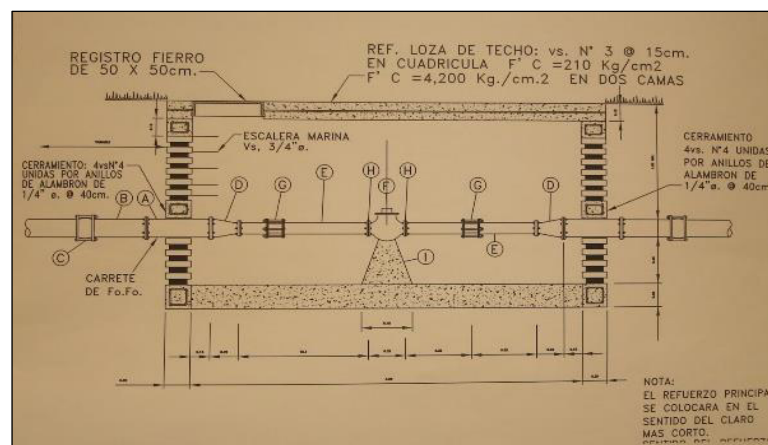


Figura 3.8 Detalle de medidor general tipo.

Material para el medidor

- Carrete de Fo.Fo.
- Extremo de Fo.fo.
- Junta Gibault Fo.Fo.



- d) Reducción de Fo.Fo. 0.15m (6") diámetro a 0.10m (4") diámetro y 0.20m(8") diámetro a 0.10m (4") diámetro.
- e) Tubo de fierro galvanizado con protección anticorrosiva.
- f) Medidor de 0.10m (4") diámetro.
- g) Cople Dresser estilo 38.
- h) Brida especial.
- i) Atraque de concreto  $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$ .

### 3.3.1.8 Reparación de fugas.

Después de realizar la revisión del circuito, la cuadrilla o cuadrillas del departamento de detección de fugas, proceden a realizar la reparación de las fugas reportadas (Figura 3.9). Se muestra e indica la detección de la fuga por el Departamento de detección de fugas.



Figura 3.9 Reparación de fugas.

### 3.3.1.9 Instalación de medidor general.

Una vez terminada la caja de válvulas, se procedió a realizar la instalación del medidor general, para ir evaluando el gasto del circuito y analizar su comportamiento.

Después de instalado el medidor se dio un tiempo adecuado para que se estabilizara la presión en el circuito y luego se tomó la lectura del medidor. Al día siguiente se volvió a tomar la lectura y se calculó el gasto medio. Con este dato se tuvo una idea de la condición actual del circuito, incluso se puede pronosticar si va a ser favorable la prueba. Esto se puede determinar comparando los datos históricos que se tienen de circuitos probados anteriormente, buscando la similitud en los siguientes factores:

- ✓ Número de tomas.
- ✓ Tipo de usuarios.
- ✓ Clase social que habita la fracción.
- ✓ Dimensiones de los lotes.

En caso de estar un 50% arriba del promedio, es recomendable verificar nuevamente con cuadrillas de detección de fugas y en caso de estar un 50% abajo, acusar que no exista alguna válvula que esté subdividiendo el circuito.

Es importante que al momento de instalar el medidor se revise que no exista un cambio de dirección, obstrucción (válvula) o reducción aguas arriba, lo cual propicia que no se forme el flujo laminar del agua al paso por el medidor, debido a que esto propiciaría errores de medición, para lo cual es importante seguir la recomendación de fabricantes que sugieren que esto debe evitarse, al menos 10 diámetros antes del medidor, lo cual se logra con el uso de carretes del mismo diámetro que el medidor (Figura 3.10).



*Figura 3.10 Utilización de carretes.*

Es muy importante que al momento de realizar la instalación del medidor se verifique que el circuito esté totalmente aislado. Para ello se debe constatar que el agua falte únicamente en el área que se tiene establecida, además verificar que no se tenga aportación de otro circuito, o sea que las válvulas limítrofes cierren perfectamente.

Para revisar lo anterior se debe apoyar con la toma de presiones en puntos estratégicos antes y después del cierre de la válvula de control (Figura 3.11).



*Figura 3.11 Ubicación de la toma de presiones.*

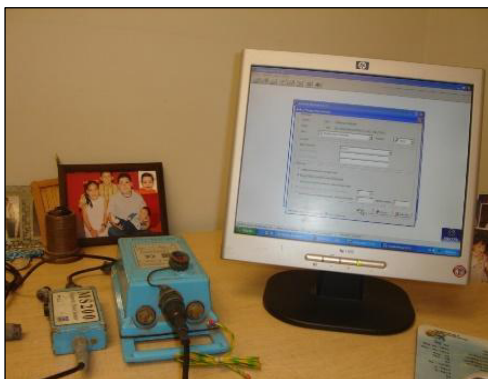
#### **3.3.1.10 Prueba del circuito.**

En la etapa primordial de la sectorización, debido a que al término de la misma se puede saber qué tan eficientes han sido todos los trabajos anteriores.

El procedimiento de la prueba del circuito consistió en las siguientes etapas:

- a) **Programación de la prueba.** Cuando el Ingeniero auxiliar de superintendente revisa que el circuito esté preparado y se cuenta con el personal suficiente, se procede a programar la prueba.

- b) **Programación del registrador.** El registrador es el aparato o equipo que guarda la información del gasto que pasa a través del medidor general. Es programa en la computadora para la prueba, alimentándole los siguientes datos: nombre del circuito, fecha, hora y, entre otros datos, se programa para que tomen lecturas de un intervalo de tiempo de un minuto (Figura 3.12).



*Figura 3.12 Equipo de registro.*

- c) **Personal que interviene en la prueba.** Entre el personal que participa en este tipo de pruebas se encuentra:
- ✓ El ingeniero auxiliar del superintendente.
  - ✓ El Supervisor o mayordomo.
  - ✓ Doce personas en cuadrillas.
  - ✓ (En ocasiones ) Personal de detección de fugas.

El número de personas de cuadrilla que intervienen puede ser variable debido a las distintas condiciones de los circuitos; como por ejemplo, las dimensiones de los lotes y la topografía del terreno; pero el número de personas que se seleccionen deberá ser tal que el cierre de las llaves de candado o de paso de las tomas domiciliarias se haga entre 15 a 20 minutos, debido a que si se rebasa ese intervalo, algunos usuarios empezarán a abrir las llaves y el resultado de la prueba no puede reflejar la condición real del circuito.

**d) Instalación del registrador**

El registrador se instala al iniciar la prueba, antes del cierre de las llaves de banqueta o paso. Se empiezan a registrar datos desde el momento en que se coloca el medidor; su instalación para un correcto registro de información es dependiendo del tipo de medidor general instalado (Figura 3.13).



Figura 3.13 Instalación del registrador.

Para la interpretación de los resultados es necesario bajar la información en la computadora y abrir la gráfica para el análisis completo del circuito, por lo menos durante 24 horas, para determinar los gastos mínimos, los máximos y medios (Figura 3.14).

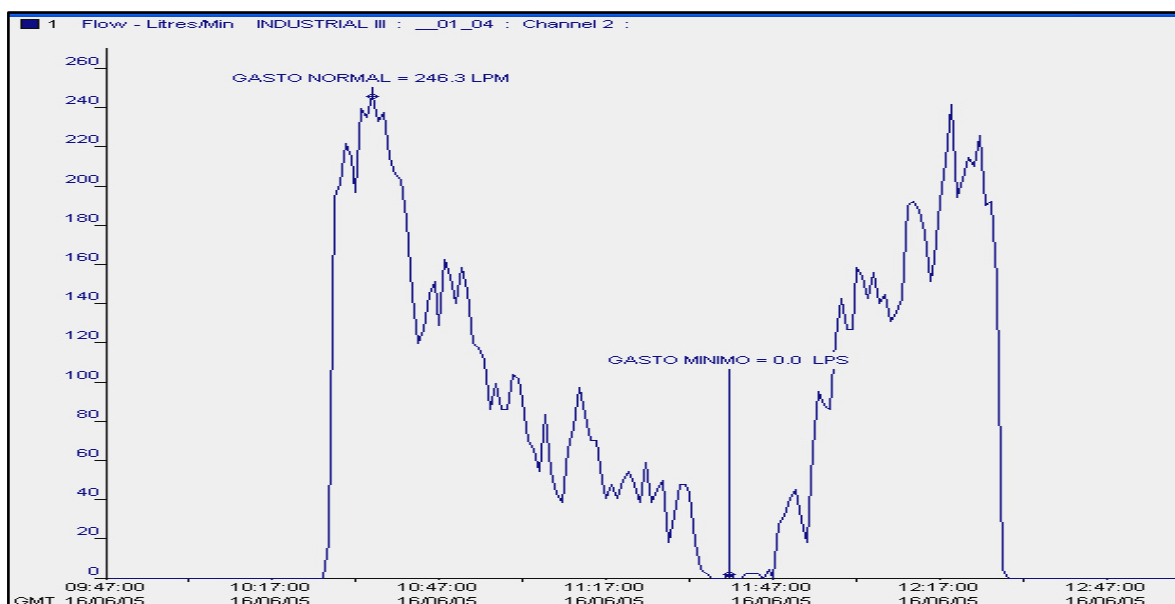


Figura 3.14 Resultados del registrador.

El registrador es el principal valuator de la prueba de circuito, ya que va guardando información minuto a minuto, gasto sobre el que pasa a través del medidor general. De acuerdo con los resultados de la interpretación, se considera una prueba como positiva o negativa.

- e) **Tomas de lectura y gastos en el medidor general.** Es muy importante saber tomar estos dos datos en el medidor general, ya que sirven para ir conociendo el comportamiento del circuito, para que se pueda obtener información desde la instalación del mismo (Figura 3.15).



*Figura 3.15 Personal tomando las lecturas correspondientes.*

- f) **Distribución del personal.** Para dar inicio a la prueba se cita tanto a las cuadrillas como al mayordomo del sector, en el lugar donde se localiza la caja de válvulas e instalado el medidor general. A cada uno de los integrantes se le entrega un plano del circuito en el que están marcadas las calles donde se van a cerrar las llaves de banqueta o paso, cuando lo indique el Ingeniero responsable de la prueba
- g) **Inicio de la prueba.** El ingeniero da la orden de inicio de la prueba. Para esto debe verificar que el registrador esté instalado y haber tomado la primera lectura del gasto inicial, así como haber distribuido la tarea que le corresponde a cada persona.
- h) **Cierre de las llaves de banqueta o paso.** Cada persona inicia a realizar el cierre de las llaves de banqueta, según le fue asignada su tarea, verificando que el indicador de cierre de la llave este horizontal, lo cual corroborará que está cerrada. De tener algún problema, deberá cerrar la llave de paso, aunque esto debió haberse verificado días antes de la prueba
- i) **Lectura de los consumos.** Desde el momento en que da inicio la prueba, el Ingeniero empieza a registrar los gastos en litros por minuto, cada 5 minutos y conforme avanza la prueba el gasto va disminuyendo. Después de 15 o 20 minutos que se terminó de cerrar las llaves de candado, deberá registrarse el gasto mínimo, éste deberá mantenerse al menos durante media hora (Figura 3.16).



SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE DE MTY. I.P.D. CENTRAL PONIENTE		
CIRCUITO	URANIA Y A. DE RODAS	FECHA OCT-29-
COLONIA	V VERDE (REPUEBA)	
MUNICIPIO	MONTERREY N.L.	
MED 02076009. BADGER		
HORA	LECTURA	GASTO (L.P.M.)
11:35	015213	600
11:40	015217	500
11:45	015218	520
12:00	015226	390
12:40	015229	320
12:20	015231	200

Figura 3.16 Registro de lecturas.

En caso de que no sea menor al 10 % del gasto medio, se envía al personal que revise que no haya faltado algo por cerrar, así como también se solicita el apoyo del personal de detección de fugas o bien verificar que algunos usuarios no hayan abierto su toma.

- j) **Apertura de llaves de banquetas de paso.** Luego de haber transcurrido aproximadamente 1:30 horas de prueba, se procede a realizar la apertura de las llaves, debiendo ser las mismas personas que cerraron las llaves, para evitar al máximo los errores Pre dictamen del circuito. Con los datos de gasto mínimo y medio, se determina si la prueba fue favorable o no; esto siempre y cuando la diferencia sea muy marcada respecto al 10% establecido. El dictamen final se obtiene al momento de interpretar la gráfica en la computadora, si se cuenta con una laptop, en ese mismo instante se define (Figura 3.17).

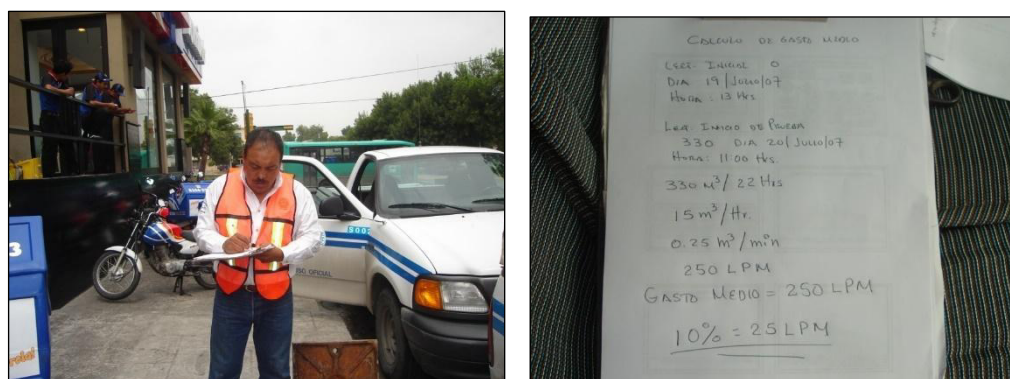


Figura 3.17 Pre dictamen.

- k) **Dictamen final del circuito.** Se retira el registrador del medidor y se lleva la información a la oficina, se descarga y ahí se define finalmente si la prueba fue favorable o no, para ello será necesario que el gasto mínimo presentado durante la

prueba sea igual o menor que el 10% del gasto medio. Este dato se obtiene directamente del gráfico que arroja el software.

### 3.4. Distrito Hidrométrico Modulado

Para la construcción del Distrito Hidrométrico Modulado Nueva Exposición, se efectuaron labores coordinadas de gabinete y de campo, donde se determinó la factibilidad de su integración, a partir de los datos de los circuitos sectorizados existentes de la red de agua potable del Área Metropolitana de Monterrey (CS's), que son aquellos previamente definidos y existentes con válvulas de seccionamiento que los limitan y con medidores de caudal mayor o igual que 4" de diámetro instalados en la alimentación de los mismos. Esto se realizó en conjunto con personal de la Central Operativa Guadalupe, a fin de elegir la zona y la viabilidad de implementación, conforme a lo siguiente:

- a) Se seleccionaron los Circuitos Sectorizados adyacentes con las que se interconecta y su zona de presión compatible.
- b) Se determinó la condición actual de los Circuitos Sectorizados adyacentes y sus antecedentes.
- c) Se seleccionó una zona con alimentación directa de un tanque de alimentación mediante una red principal de 10".
- d) Se consideró como un factor limitante la cantidad máxima de 10,000 conexiones de agua. En el caso de estudio lo conforman 9784 tomas.
- e) Se construyó el registro donde fue alojada la válvula modulante con su Macromedidor y controladores.
- f) Se instaló el sistema modulado y se comenzaron a registrar los valores de presión y flujo, previo a la configuración del sistema.
- g) Se configuraron las presiones de trabajo del sistema modulado con respecto al horario. Dichos parámetros salieron del estudio previo a la configuración.
- h) Una vez puesto en funcionamiento el control, se detectaron los puntos más desfavorables (puntos más alejados y/o más altos) del sector, para monitorearlos y así cumplir la presión mínima.
- i) Se instalaron registradores en los puntos críticos para monitorear la presión en los días posteriores al funcionamiento del sistema.
- j) Se reevaluaron los valores de presión en los puntos críticos y se tomó la decisión de modificar los parámetros de presión con respecto a horario, para eficientizar de mejor manera.
- k) Si es necesario se repiten los pasos del 7 al 10, hasta tener el resultado óptimo.

Estos pasos conforman una serie de fases relacionadas con el trabajo de campo y de gabinete, para la esquematización del Distrito Hidrométrico, la modelación, la integración de los datos de los circuitos sectorizados (CS's), la asignación de consumos con base en demandas, se ajuste de parámetros, el análisis de mediciones, entre otros, a fin de que una vez concluidas todas estas etapas, se pueda determinar como un Circuito Modulado y, a su vez, pueda considerarse, con base en los resultados, como una optimización de la red sectorizada existente que contribuya en la sostenibilidad hídrica de la región.

En virtud de que los modelos matemáticos de una red de distribución de agua potable se utilizan como transductores abstractos que reproducen el estado del sistema físico real bajo unas condiciones deseadas, la construcción de un Distrito Hidrométrico a partir de la integración de circuitos sectorizados básicos en una red hidráulica ya existente, implicará la modelación hidráulica y también técnicas experimentales realizadas en el campo (prueba y error) con válvulas de control automático que permitan la Modulación en función de la demanda y la presión.

Finalmente, la realización del balance hidráulico del Distrito Hidrométrico definido y posteriormente modulado permitirá evaluar el grado de incremento de la eficiencia logrado mediante la optimización de la red sectorizada existente, al efectuar la comparación integrada de los circuitos sectorizados respecto a los resultados del Distrito Hidrométrico Modulado. Este balance consiste básicamente en contrastar el volumen total de agua inyectado al Distrito Hidrométrico en un periodo de tiempo dado, medido a través de unos equipos de macro medición, con el volumen total registrado por todos los medidores de los circuitos sectorizados integrados, en el mismo periodo.

La diferencia entre ambos constituye el monto de las pérdidas, algunas de las cuales son reales como las fugas de agua, mientras que otras corresponden a pérdidas aparentes, para determinar el grado de mejora y optimización que brinda la implementación de Distritos Hidrométricos Modulados a las redes de distribución de agua potable y su contribución a la sostenibilidad hídrica.

### **3.4.1 Funcionamiento del sistema del distrito hidrométrico modulado Nueva Exposición**

La modulación en un distrito consiste en regular la presión de suministro a la red de forma eficiente, tratando de conservar presiones las bajas, pero siempre cumpliendo con los parámetros de servicio establecidos. Esto se obtuvo mediante un sistema conformado por una válvula reguladora de presión marca Dorot serie 300 de 10" Figura 3.18, 1 controlador inteligente Neptuno para el registro y monitoreo de presión de entrada y presión de salida y 1 controlador inteligente Neptuno para el registro y el monitoreo del flujo. Figura 3.19.





*Figura 3.18 Válvula reguladora serie 300 Dorot 10".*



*Figura 3.19 Controladores de presiones y flujo.*

La modulación del distrito se controla mediante el controlador inteligente Neptuno Figura 3.20 el cual se alimenta con los parámetros de presión, dependiendo del horario. Dichos parámetros proponen después de revisar el análisis previo.

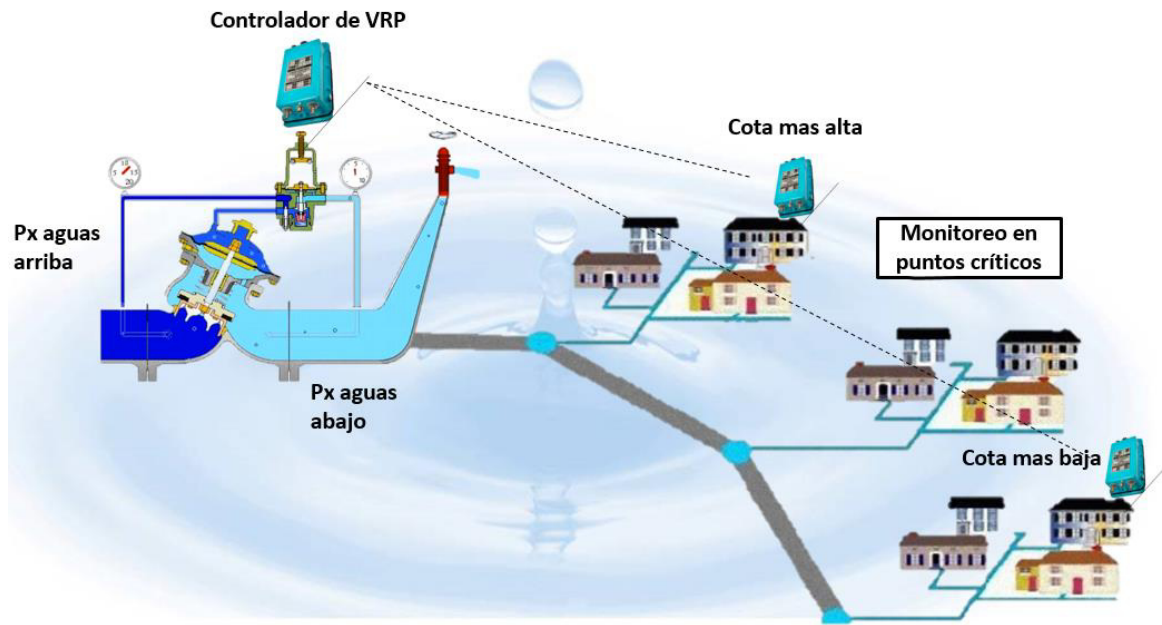


Figura 3.20 Sistema de modulación.

En la Figura 3.21 se muestra el diagrama de flujo del sistema de abastecimiento mediante el sistema del distrito hidrométrico modulado, en el que se reducen las pérdidas de agua detectando fugas y disminuyendo los volúmenes de agua no contabilizada.

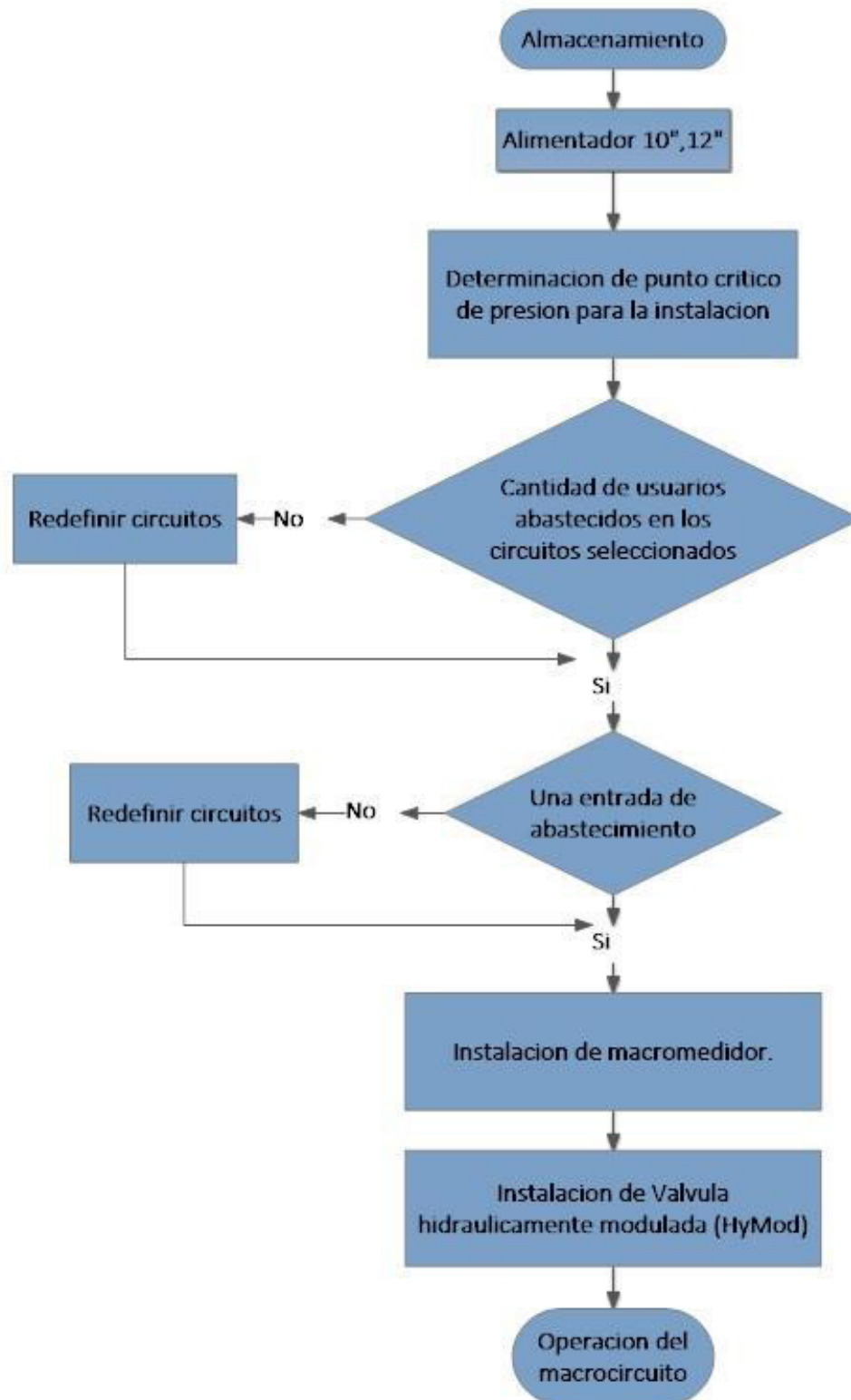


Figura 3.21 Diagrama del distrito hidrométrico modulado.

# CAPÍTULO 4

## RESULTADOS

### 4.1. El sistema con circuitos implementados

Para conocer el volumen de agua consumido en cada circuito que ahora es parte del DHM “Nueva Exposición”, se registraron las lecturas de los macromedidores de cada circuito. Con esta información la base de datos comprende datos de enero de 2014 hasta septiembre de 2017. En la Tabla 4.1 se observa un ejemplo de los valores de lecturas para un circuito de enero de 2014 a diciembre de 2016.

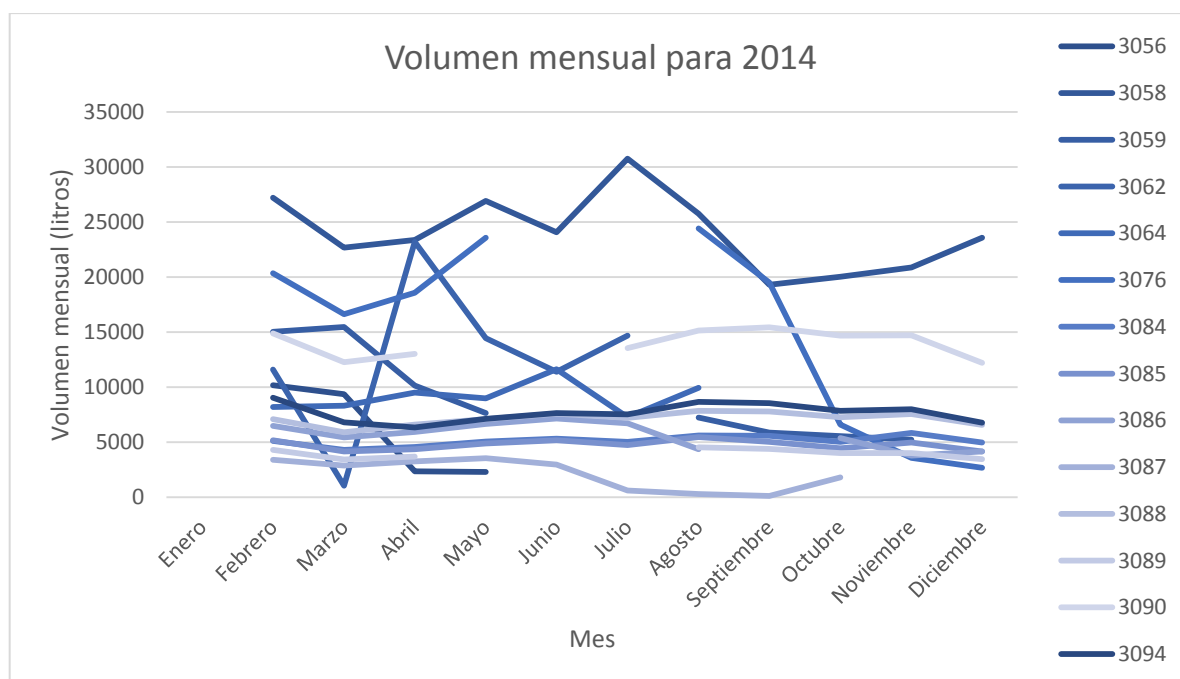
Se elaboraron tablas para los 23 circuitos que conforman el Distrito “Nueva exposición”, correspondientes a los años 2014, 2015, 2016 y 2017, que son el resultado de realizar el cálculo del volumen mensual mediante la resta del valor de la lectura en el mes menos el mes anterior.

Debido a la falta de lecturas, o valores con error en algunos circuitos en ciertos meses, fue necesario depurar la base de datos. En los registros de los recorridos en el campo, se justifica en el apartado de observaciones la razón por la cual no se tomó la lectura. En la mayoría de los casos se indicó que el medidor no se encontraba funcionando en ese momento.

**Tabla 4.1** Lecturas para circuito 3056 del año 2016 (Fuente: Base de datos de AyD).

cto	descripción	ruta	num_itin	f_lectura	Mes	nom_unicom	tot	Lectura	Vol. mensual
3056	LSI-AZ-02	4	9	14/01/2016	Enero	G.C. Guadalupe	342	62114	
3056	LSI-AZ-02	4	9	12/02/2016	Febrero	G.C. Guadalupe	342	70531	8417
3056	LSI-AZ-02	4	9	11/03/2016	Marzo	G.C. Guadalupe	342	76051	5520
3056	LSI-AZ-02	4	9	13/04/2016	Abril	G.C. Guadalupe	342	84118	8067
3056	LSI-AZ-02	4	9	13/05/2016	Mayo	G.C. Guadalupe	342	91646	7528
3056	LSI-AZ-02	4	9	14/06/2016	Junio	G.C. Guadalupe	342	100101	8455
3056	LSI-AZ-02	4	9	13/07/2016	Julio	G.C. Guadalupe	342	107610	7509
3056	LSI-AZ-02	4	9	12/08/2016	Agosto	G.C. Guadalupe	342	115424	7814
3056	LSI-AZ-02	4	9	13/09/2016	Septiembre	G.C. Guadalupe	342	123682	8258
3056	LSI-AZ-02	4	9	13/10/2016	Octubre	G.C. Guadalupe	342	133737	10055
3056	LSI-AZ-02	4	9	14/11/2016	Noviembre	G.C. Guadalupe	342	139171	5434
3056	LSI-AZ-02	4	9	14/12/2016	Diciembre	G.C. Guadalupe	342	148949	9778

Luego de la depuración de la base de datos, fue posible realizar la gráfica de volúmenes mensuales para un total de 14 circuitos, para el año 2014. En la Figura 4.1 se observa que los valores más altos están en el orden de los 30,000 litros para circuitos específicos. Los volúmenes registrados con mayor frecuencia en los diferentes circuitos reportan intervalos entre 3,000 a 10,000 litros por mes.

**Figura 4.1** Gráfica de volumen mensual por circuito para 2014 (Fuente: Generación propia con valores de AyD).

Para 2015 fue posible graficar un total de 13 circuitos, se presentan en la gráfica de la Figura 4.2. Cabe destacar que sólo un circuito alcanzó los 30,000 litros/mes, pero en este caso los volúmenes de consumos más frecuentes en los circuitos oscilan entre 15,000 a 5,000 litros por mes.

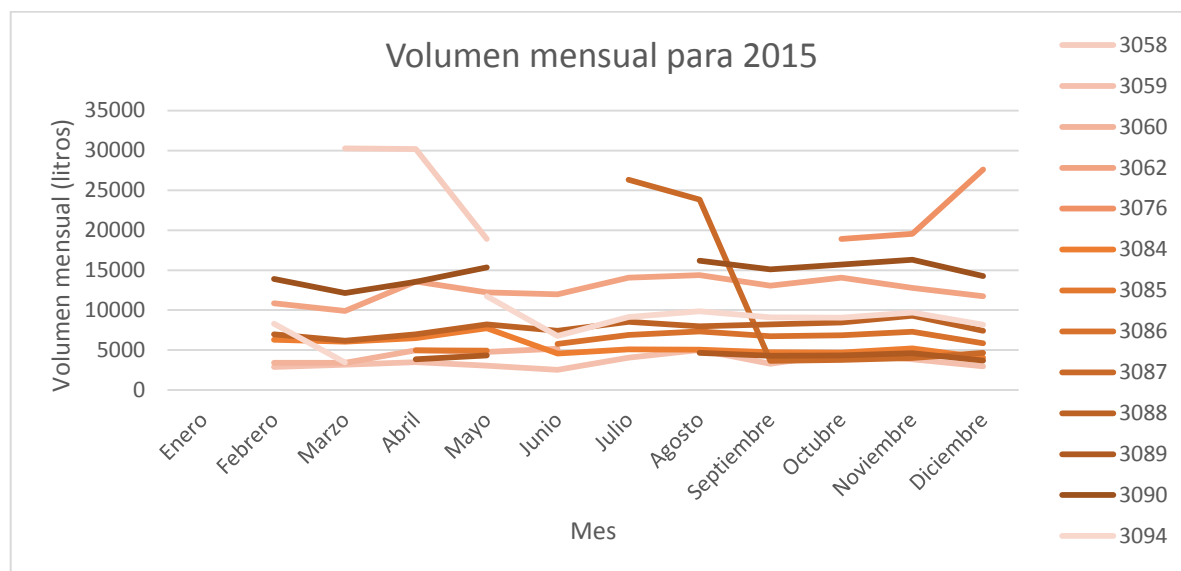


Figura 4.2 Gráfica de volumen mensual por circuito para 2015 (Fuente: Generación propia con valores de AyD).

Por último, se graficó el volumen consumido para 2016, que fue el último año en que aún no se instalaban válvulas reguladoras en los circuitos y que se muestran en la Figura 4.3.

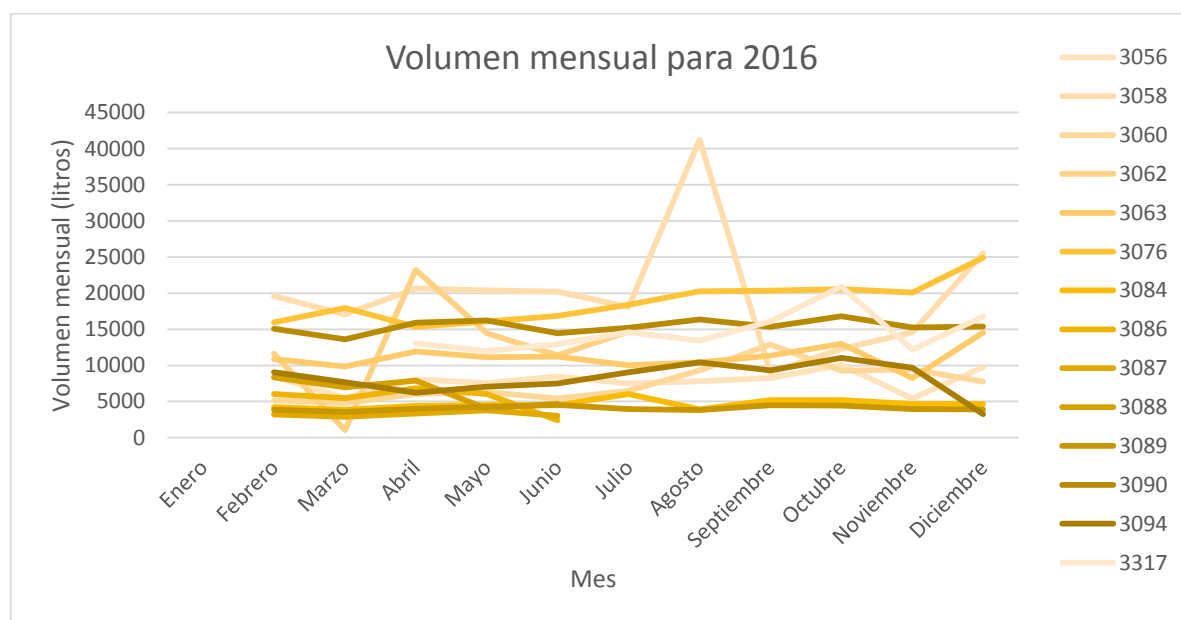


Figura 4.3 Gráfica de volumen mensual por circuito para 2016 (Fuente: Generación propia con valores de AyD).

Se puede observar que existió un valor máximo inusual que superó los 40,000 litros/mes. Este valor puede estar asociado a fugas mayores al interior del circuito. Es importante resaltar la mayor variabilidad en los volúmenes que cada circuito consumió; esta diferencia tiene su máximo valor > 40,000 litros/mes y su promedio aproximadamente alrededor de 10,000 litros/mes.

## 4.2. Funcionamiento del sistema del Distrito Hidrométrico Modulado

En enero de 2017 se llevó a cabo la instalación del sistema de modulación. Posterior a este suceso, se analizaron los valores entre enero a septiembre del 2017. El análisis se realizó hasta el mes de septiembre, porque se cuenta con los registros.

En la Tabla 4.2 se observa un ejemplo de los valores de lecturas para un circuito del año 2017.

**Tabla 4.2** Lecturas para circuito 3056 del año 2017 (Fuente: Base de datos de AyD).

cto	descripción	ruta	num_itin	f_lectura	Mes	nom_unicom	tot	Lectura	Vol. Mensual
3056	LSI-AZ-02	4	9	13/01/2017	Enero	G.C. Guadalupe	342	154788	
3056	LSI-AZ-02	4	9	13/02/2017	Febrero	G.C. Guadalupe	342	162202	7414
3056	LSI-AZ-02	4	9	14/03/2017	Marzo	G.C. Guadalupe	342	169056	6854
3056	LSI-AZ-02	4	9	12/04/2017	Abril	G.C. Guadalupe	342	175771	6715
3056	LSI-AZ-02	4	9	15/05/2017	Mayo	G.C. Guadalupe	342	183702.095	7931.095
3056	LSI-AZ-02	4	9	14/06/2017	Junio	G.C. Guadalupe	342	191257	7554.905
3056	LSI-AZ-02	4	9	14/07/2017	Julio	G.C. Guadalupe	342	199448	8191
3056	LSI-AZ-02	4	9	14/08/2017	Agosto	G.C. Guadalupe	342	210545	11097
3056	LSI-AZ-02	4	9	13/09/2017	Septiembre	G.C. Guadalupe	342		

En la Figura 4.4 se observan los volúmenes consumidos en el año 2017, por los circuitos del Distrito hidrométrico modulado “Nueva Exposición”.

Para evaluar el funcionamiento del sistema de macrocircuito hidrométrico modulado se llevó a cabo el método de control en el Distrito Hidrométrico de Modulación “Nueva Exposición”, basados en la configuración experimental a partir de los caudales de demanda y control de presiones. Los valores analizados previos a realizar el control se midieron del día 28 de diciembre de 2016 al 10 de enero de 2017. Los resultados reflejan que los valores máximos apenas superan los 20,000 litro/mes en uno de los circuitos,

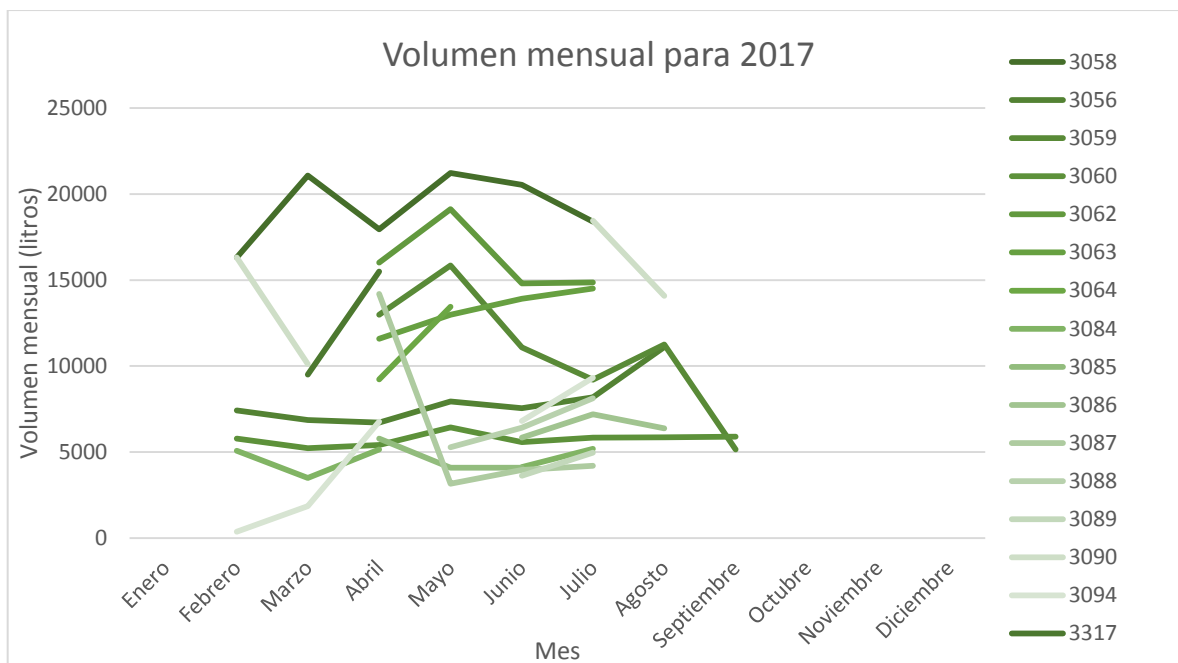


Figura 4.4 Gráfica de volumen mensual por circuito para 2016 (Fuente: Generación propia con valores de AyD).

El gasto medio antes del control era de 81.073 LPS y las presiones de entrada y de salida eran de 3.865 Kg/cm<sup>2</sup>, como se muestra en la gráfica de la Figura 4.5. Las presiones nocturnas de entrada y salida tienen valores de, 4.435 Kg/cm<sup>2</sup>, y 4.396 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Las presiones diurnas de entrada y salida tienen valores de, 3.848 Kg/cm<sup>2</sup> y 3.762 Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

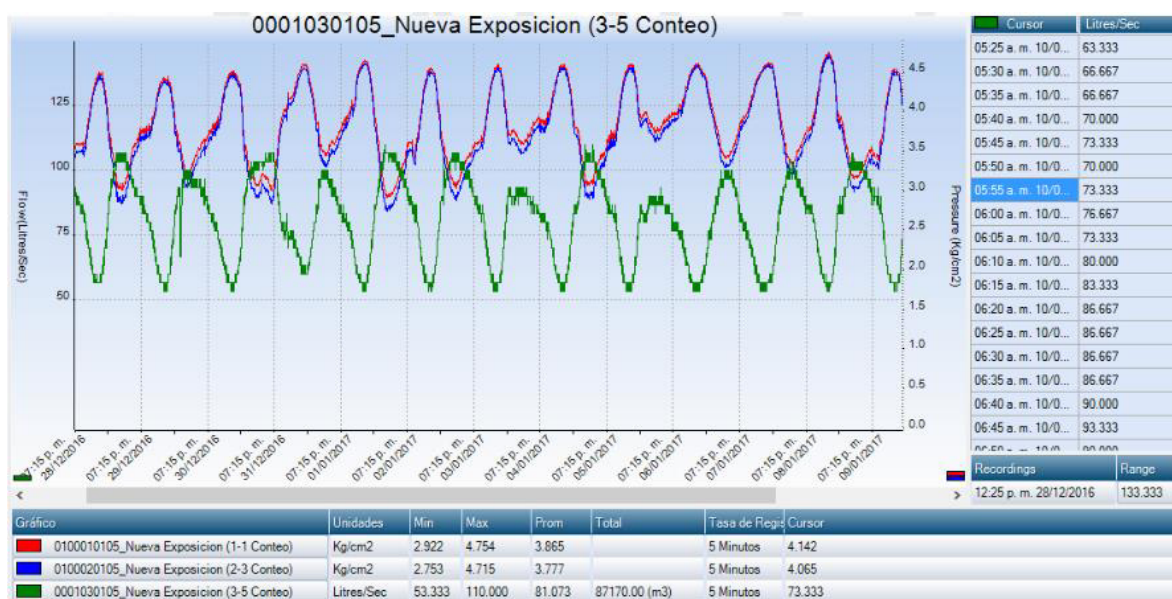


Figura 4.5 Gasto y presiones antes del control (Fuente: Marfel, 2017).

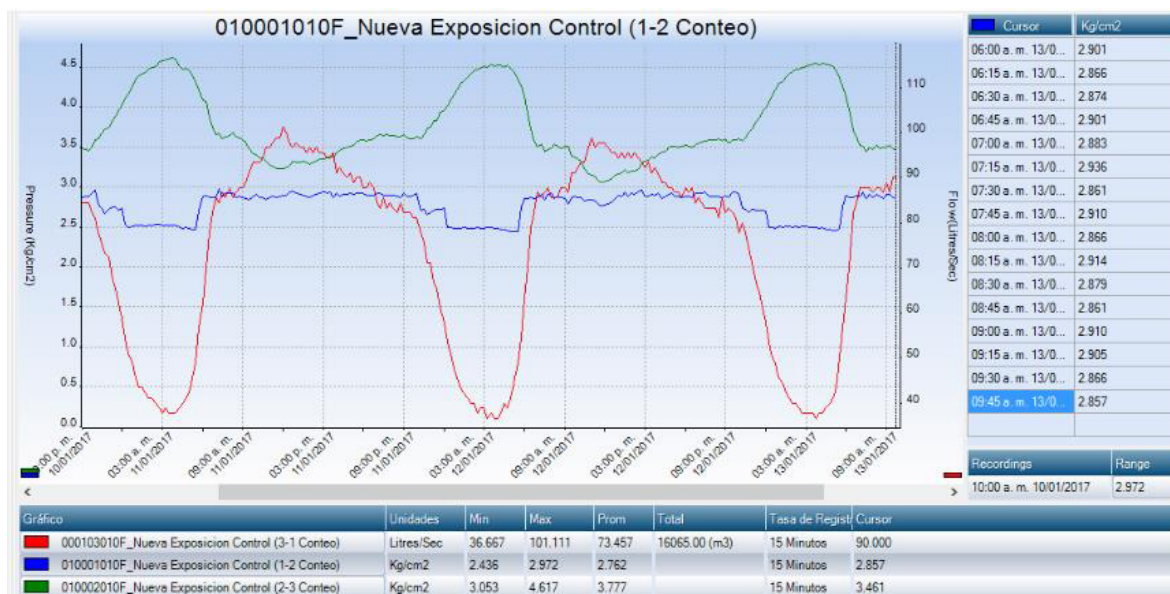


Con base en los gastos y presiones observados antes de realizar el control se establecieron los parámetros para configurar el Primer Control del funcionamiento del sistema. En la Tabla 4.3 se pueden observar los valores que se determinaron para proceder a realizar la calibración de presión de salida hacia la red interna de distribución del DHM.

**Tabla 4.3** Parámetros para Primer control (Fuente: Marfel, 2017).

Horario (24 hrs)	Valor (Kg/cm <sup>2</sup> )
00:00	2.2
05:00	2.2
05:30	2.9
21:30	2.9
22:00	2.7

Después de establecer estos valores en el controlador se tuvo un periodo de monitoreo de los resultados a lo largo de 3 días. El Primer Control se inició el día 10 de enero de 2017 y finalizó 13 de enero de 2017. En la Figura 4.6 se pueden observar las presiones y gastos obtenidos donde la presión promedio de entrada fue de 3.78 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la de salida fue 2.97 kg/cm<sup>2</sup>. Las presiones nocturna y diurna fueron de 2.86 kg/cm<sup>2</sup> y 2.51 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente y el gasto medio obtenido durante esta prueba fue de 73.46 LPS.



**Figura 4.6** Gasto y presiones para Primer control (Fuente: Marfel, 2017).

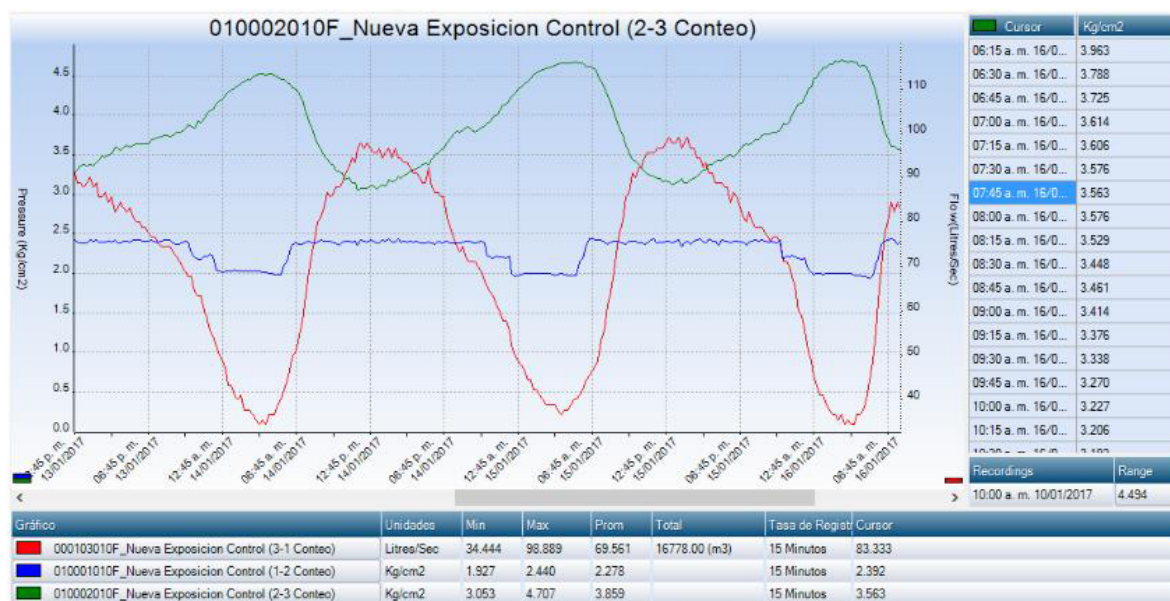
Con los resultados del *Primer Control* fue posible reconfigurar los parámetros para un *Segundo Control*. En la Tabla 4.4 se observan los valores que se definieron para esta segunda configuración.

**Tabla 4.4** Parámetros para el Segundo control (Fuente: Marfel, 2017).

Horario (24 hrs)	Valor (Kg/cm <sup>2</sup> )
00:00	2
05:00	2
05:30	2.4
21:30	2.4
22:00	2.2

Después de establecer estos valores en el equipo controlador, se observaron los resultados de los 3 días monitoreados entre los días 13 de enero de 2017 al 16 de enero de 2017.

Las presiones y gastos obtenidos para el Segundo Control se muestran en la Figura 4.7, donde la presión promedio de entrada registrada fue de 3.86 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la de salida fue 2.28 kg/cm<sup>2</sup>. Por otra parte, las presiones promedio nocturna y diurna registradas fueron de 2.40 y 1.99 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. El gasto medio obtenido para esta segunda calibración fue de 69.56 LPS.



**Figura 4.7** Gasto y presiones para Segundo control (Fuente: Marfel, 2017).

### 4.3. Discusión de los resultados.

En la Tabla 4.5 se observan los resultados de la información previa y posterior a las iteraciones de calibración, donde es posible comparar las presiones y los gastos de cada iteración, realizada con el objeto de optimizar las presiones de trabajo para las 24 horas de servicio.

**Tabla 4.5** Comparación de parámetros después del control.

Parámetros	Gasto	Presión entrada	Presión salida	Presión diurna	Presión nocturna
<b>Antes del control</b>	81.073	3.865	3.777	3.805	4.416
<b>Primera calibración</b>	73.457	3.777	2.972	2.507	2.857
<b>Segunda calibración</b>	69.561	3.859	2.278	2.396	1.994

Se encontró que se tenía un gasto inicial  $Q_{med\ inicial}$  de 81.073 LPS antes de realizar la primera calibración, y después de realizada la Segunda calibración se obtuvo un gasto  $Q_{med\ final}$  de 69.561 LPS. Esto representa una disminución del gasto de 11.512 LPS, lo que significa un ahorro en la provisión de agua de 14.20%; después de dos iteraciones.

Para determinar los cambios en el volumen entregado se compararon las lecturas de los macromedidores en cada circuito, al interior del Distrito Hidrométrico Modulado con cada uno de los años anteriores a la instalación del sistema de modulación. Esto quiere decir, que se comparó directamente el volumen promedio de los circuitos que conforman el Distrito hidrométrico modulado “Nueva Exposición” de los años 2014, 2015 y 2016, contra el volumen registrado en el año 2017. Dicha información se presenta en las Figuras 4.8 (2014 vs 2017), 4.9 (2015 vs. 2017) y 4.10 (2016 vs. 2017).

Los volúmenes de agua consumidos del año 2017 en comparación con los volúmenes registrados en 2014, son menores a partir del mes de junio; una situación inversa sucede para los meses de febrero a mayo. En general las líneas de los promedios reflejan una tendencia de menor consumo para el año 2017. La información anterior puede apreciarse en la Figura 4.8.

En la Figura 4.9 se puede observar el comportamiento de los volúmenes de agua consumidos durante 2017, versus la situación del año 2015. En este caso se logró apreciar que entre marzo y junio los consumos son mayores para 2017, todos los demás meses reportaron un menor consumo de agua, en comparación con 2015.

La comparación de volúmenes de agua consumidos entre 2017 y 2016 reporta que en los meses de enero a mayo se consumió más agua en el 2017 y, a partir de junio, los volúmenes del año de referencia son menores; situación mostrada en la Figura 4.10.

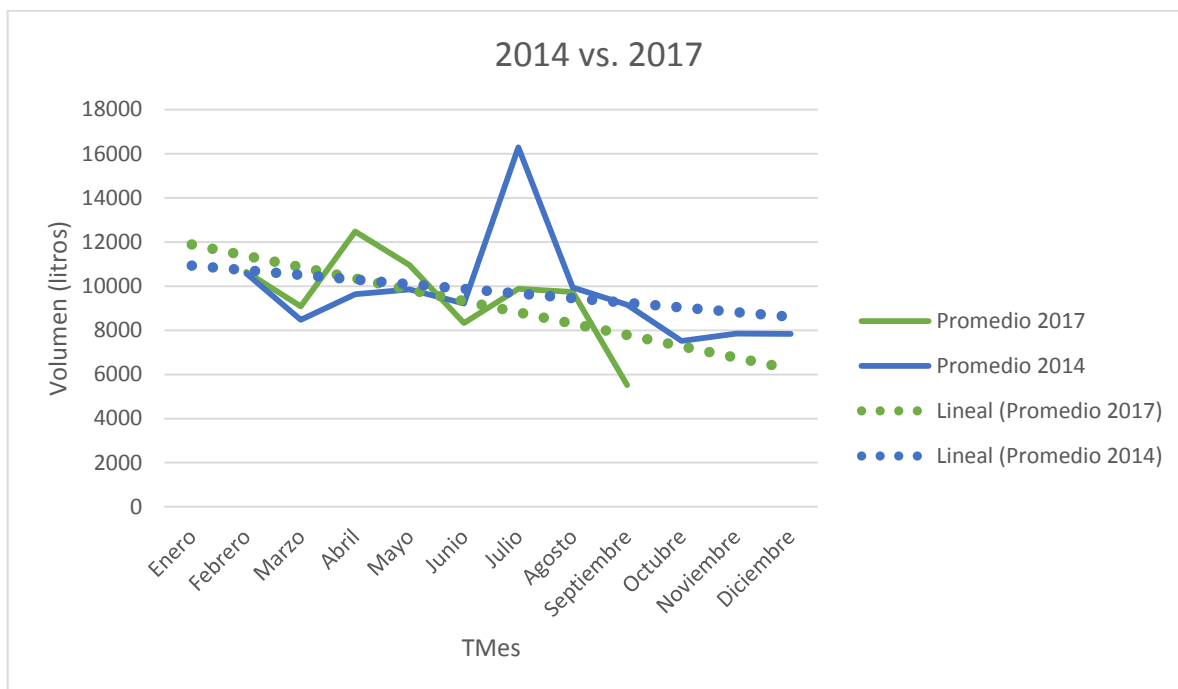


Figura 4.8 Gráfica de volúmenes de 2014 vs. 2017.

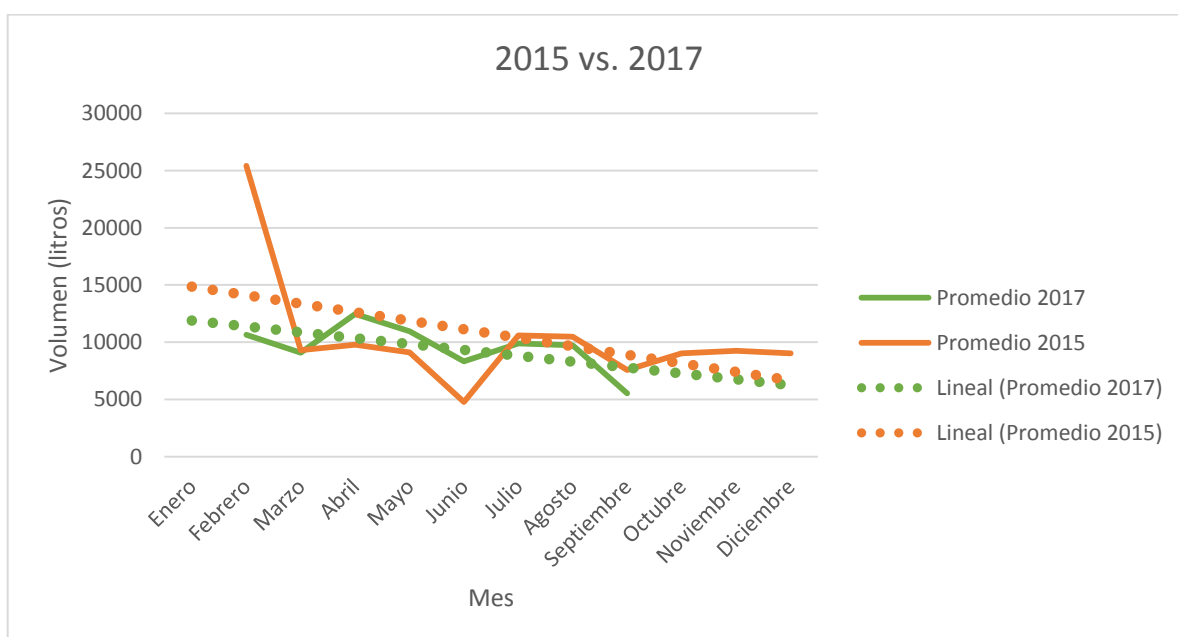


Figura 4.9 Gráfica de volúmenes de 2015 vs. 2017.

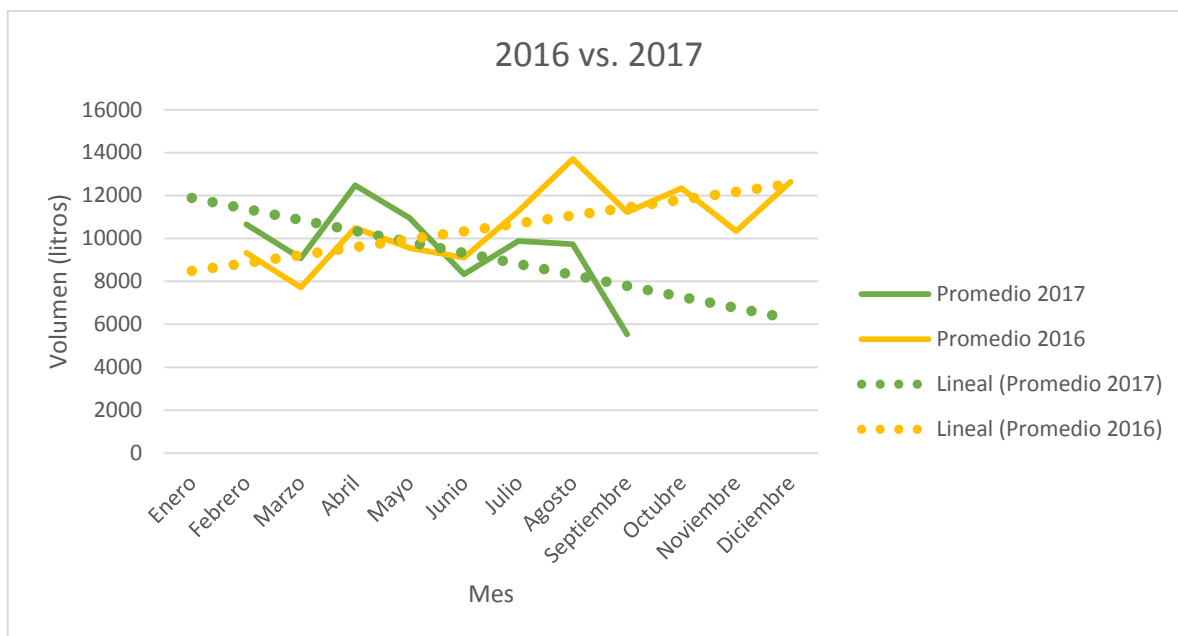


Figura 4.10 Gráfica de volúmenes de 2016 vs. 2017.

Después de haber realizado la segunda calibración del sistema modulante, fue posible analizar los resultados obtenidos en el Distrito Hidrométrico Modulado, los que se presentan de forma resumida en la Figura 4.11. Se demuestra que se logró una reducción significativa del volumen que ingresa al DHM. Antes de la implementación del sistema modulante se tenían  $211,670 \text{ m}^3/\text{mes}$ , después de la calibración se obtuvo un volumen promedio mensual de  $192,900 \text{ m}^3$ ; en resumen, se logró optimizar el volumen del sistema en un 8.87%.

En el caso de las presiones (Figura 4.12), se logró reducir las presiones máximas de trabajo de  $4.09 \text{ Kg/cm}^2$ , a  $2.60 \text{ Kg/cm}^2$ , lo que significa una reducción del 36.43%. En el caso de las presiones mínimas de servicio la reducción alcanzada fue de  $3.59 \text{ Kg/cm}^2$ , como valor anterior, a  $2.18 \text{ Kg/cm}^2$  como valor final, posterior a la calibración del sistema, significando el 39.28%.

Es importante resaltar que el sistema modulante, permite regular las presiones de trabajo de forma eficiente. Esto se traduce en un intervalo de presiones que varía sólo  $0.42 \text{ Kg/cm}^2$  menor que el nivel anterior, igual a  $0.50 \text{ Kg/cm}^2$ .

Con relación a los volúmenes de agua consumidos en el DHM, se presentaron valores mínimos de  $190,398 \text{ m}^3$  para el mes de julio de 2017 y el máximo volumen fue igual a  $199,088 \text{ m}^3$  para el mes de agosto de 2017, lo cual generó una variación de volumen igual a  $8690 \text{ m}^3$ , en el lapso de un mes. Con estos resultados quedó demostrado que las variaciones significativas de volumen de consumo no afectan de forma importante las presiones de servicio configuradas y reguladas por el sistema modulante.

## VOLUMEN M3 ANTES DEL CONTROL VS CONTROLADO

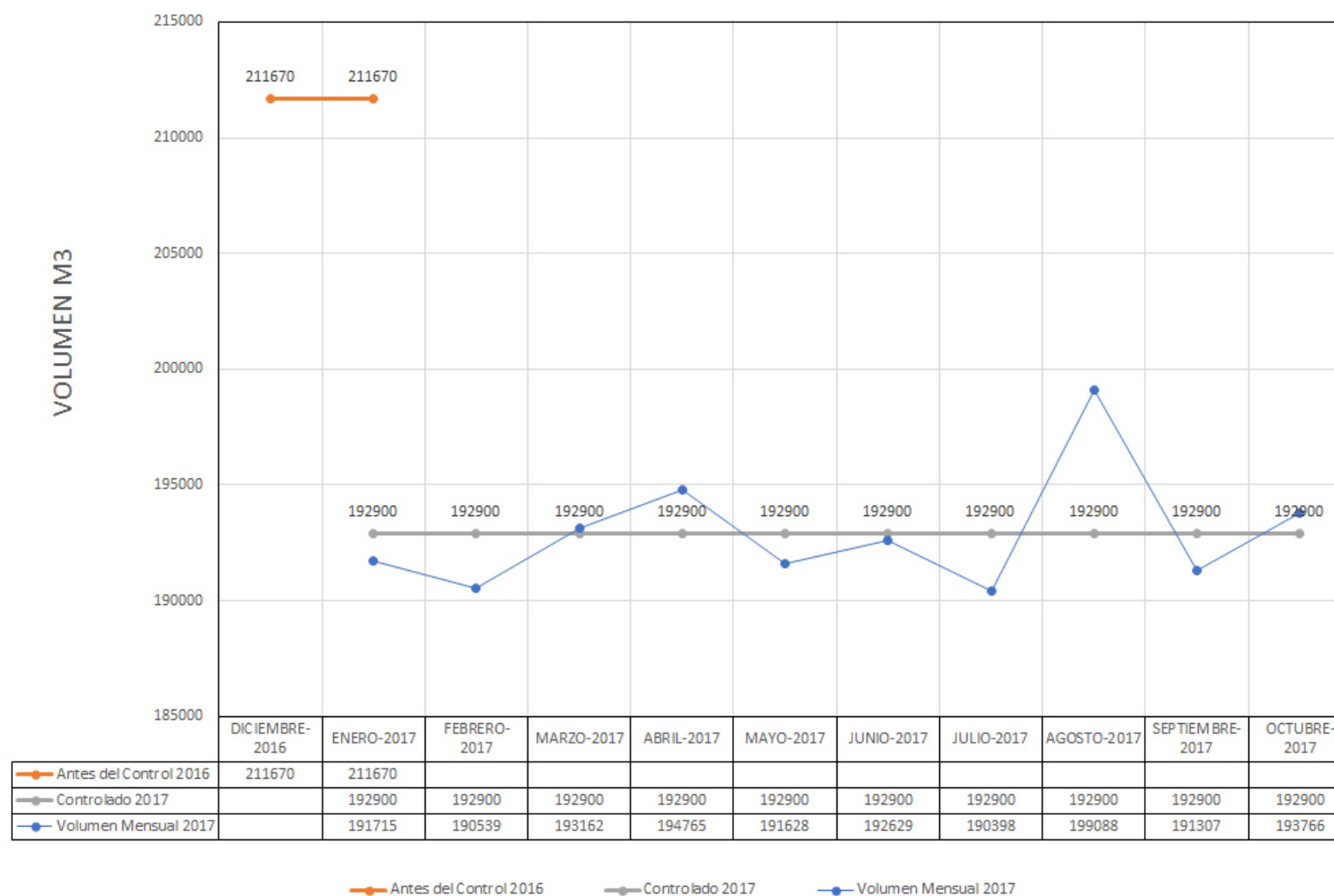


Figura 4.11 Comparación de volúmenes del Sistema Hidrométrico Modulado.

## PRESIONES KG/CM2 ANTES DEL CONTROL VS CONTROLADO DEL DISTRITO HIDROMETRICO MODULADO "NUEVA EXPOSICION"

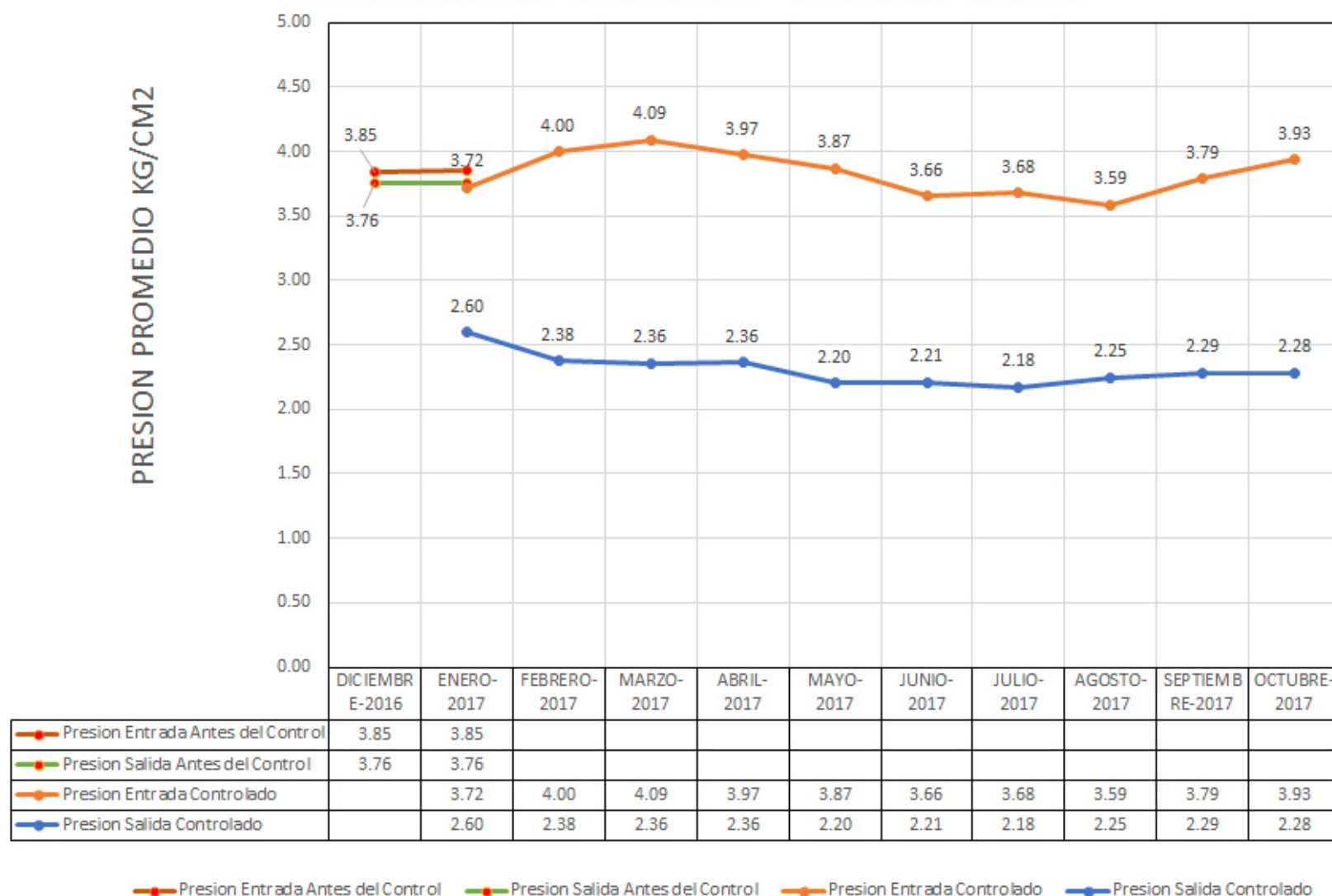


Figura 4.12 Comparación de presiones de funcionamiento del Sistema Hidrométrico Modulado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones.

1. La implementación del Distrito Hidrométrico Modulado con su correspondiente equipamiento logra una reducción del gasto de un 14.20%, lo cual optimiza la distribución de agua dentro del sistema y lo vuelve más eficiente, generando un manejo hídrico sostenible.
2. Se logró disminuir la presión de trabajo en el sistema en un 55% durante la noche, significando una disminución de las fugas y, por lo tanto, un ahorro del volumen de agua.
3. La implementación del Distrito Hidrométrico Modulado, permite que el sistema trabaje con, presiones optimas, sin ver su funcionamiento afectado por los consumos de agua máximos y mínimos a lo largo del año.
4. Las presiones de trabajo configuradas en el Distrito Hidrométrico Modulado garantizan la provisión de agua en cantidad suficiente a los usuarios, lo que garantiza una cobertura del 100% de los usuarios con las presiones de servicio optimizadas, lo cual deriva en un ahorro efectivo de agua, permitiendo la gestión hídrica sostenible en la red de distribución de agua potable.
5. Los volúmenes registrados en la operación del sistema para los años 2014, 2015 y 2016 fueron mayores que el volumen registrado durante 2017.



6. Las presiones de trabajo más bajas evitan el deterioro prematuro de uniones y tuberías en la red de distribución y en la red domiciliaria.
7. El volumen de agua ahorrado al mes, en promedio, es igual a 18,770 m<sup>3</sup>, considerando el monitoreo de alta precisión realizado en diciembre 2016 versus febrero – octubre de 2017, que serviría para 625 usuarios extra por mes considerando un abastecimiento 250 l/hab/día y un promedio de 4 habitantes por conexión.
8. El impacto, en términos de sostenibilidad hídrica del Distrito Hidrométrico Modulado al año representa un ahorro de 225,240 m<sup>3</sup>.
9. La disponibilidad de agua extra para los 9,784 usuarios asciende a 23.02 m<sup>3</sup>/año gracias a la implementación del Distrito Hidrométrico Modulado
10. Haciendo una extrapolación directa para los 1,318,534 usuarios (septiembre 2016) del Área Metropolitana de Monterrey significaría un ahorro igual a 30,352,653 m<sup>3</sup>/año.

## **Recomendaciones.**

1. Realizar un monitoreo continuo del funcionamiento de los parámetros del sistema a lo largo de todo un año para reconfigurar los parámetros y optimizarlos dependiendo de las condiciones climatológicas y las costumbres de los usuarios.
2. Se debería instalar un sistema de telemetría en cada macromedidor de cada circuito, con la finalidad de identificar volúmenes de entrada y hacer su correspondiente comparación con los volúmenes facturados para conocer la eficiencia de cada circuito.
3. Se recomienda hacer un monitoreo de presiones de forma puntual durante los meses con mayor demanda de agua para zonas con mayor carga hidráulica en donde se podrían instalar equipos reguladores para reducir las presiones excesivas a los usuarios de las zonas más bajas y reducir con esto el riesgo de la presencia de fugas dentro de la red de distribución.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, B. I., Sisto, N. P., Ramírez, O. A.** (2015), *Agua para Monterrey: Logros, Retos y Oportunidades para Nuevo León, México.*, Agencia Promotora de Publicaciones, Monterrey, México, 2015, p.p. 16-48.
- Bourguett, V. Ochoa, L.** (2001), *Reducción Integral de Pérdidas en Sistemas de Distribución de Agua Potable*, México, SEMARNAT, IMTA, 2011, p.p. 11, 18-23.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua**, 2011, *Estadísticas del Agua en México, 2011*, México SEMARNAT, p.p. 20, 37-39, 55, 125, [En línea] Disponible en. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>, [2017, 30 marzo].
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua**, (2009), *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, 2009, México, D.F. Edición SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009, p.p. 19-21, [En línea] Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/LibroAnexosYTablas-Situaci%C3%B3nSAPAS.pdf>, [2017, 30 marzo].
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua**, (2012), *Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable*, México, SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012, [En línea], Disponible en [www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-1-12.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-1-12.pdf), [2017, 2 abril].
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua**, (2006), *Sectorización en redes de Agua Potable*, México, SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua**, (2007), *Indicadores del Agua, 2007, Sistemas de Agua Potable*, México, SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2017, [En línea], Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/ConsultaIndicadores.aspx?Id=Indicadores+del+Agua+%7c++++AGUAS+NACIONALES%7c3%7c0%7c0%7c0%7c0>, [2017, 22 marzo].
- García Serra, J. Martínez, F.**, (1993). “Modelización Matemática de Sistemas de Distribución de Agua en Servicio”. Abastecimientos de Agua Urbanos. Estado Actual y tendencias futuras (pp 189-226). U.D. Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Graf, M.S.** (2007), *La escasez del Agua en el Mundo y la Importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación Abundancia-Escasez*, 2007, Centro Argentino de estudios Internacionales, Programa de Recursos Naturales, Enero, 2017, Ciudad de la Plata,

- Argentina, [En línea] Disponible en <http://www.caei.com.ar/es/programas/recursosn/17.pdf>, [2017, 20 marzo]
- INEGI, Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática**, (2016), *Anuario Estadístico y Geográfico de Nuevo León 2016*, [En línea], Disponible en [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/AEGPEF\\_2016/702825087357.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/AEGPEF_2016/702825087357.pdf), [2017, 16 marzo].
- Jiménez, C. Blanca E.** (2007), *Información y Calidad del Agua en México. Trayectorias UANL, Monterrey, N.L., Volumen IX, Número 24*, 2007, mayo-agosto, p.p. 45-56. [En línea], Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=6071511500>, [2017, 2 abril].
- LAN. Ley de Aguas Nacionales.** (2016), Diario Oficial de la Federación, México, 1 de enero, 1992, última reforma publicada el 24 de marzo del 2016, [En línea], Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan.htm>, [2017, 15 marzo].
- LGEEPA. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.** (2017), Diario Oficial de la Federación, 28 de enero, 1988, última reforma publicada el 24 de enero del 2017, [En línea], Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>, [2017, 15 marzo].
- PNUMA, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE**, 2007, *La problemática del agua en el mundo, 2007*, [En línea] Disponible en <http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/cap1.pdf>, [2017, 30 marzo].
- SADM, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.**, (2017), *Prontuario Estadístico Sobre la Operación en el Área Metropolitana*, Datos a 2016, [En línea], Disponible en [https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/Anuario\\_Estadistico\\_SADM.pdf](https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/Anuario_Estadistico_SADM.pdf), [2017, 7 abril].
- SADM, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.**, (2007), *Programa de Sectorización de la Red de Agua Potable en la Ciudad de Monterrey, N.L.*, XXI Convención de la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México, ANEAS, Agosto, 2007, Cancún Quintana Roo.
- SADM, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.**, (2017), *Portal de sadm.gob.mx*, La Empresa, Antecedentes, [En línea], Disponible en <http://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/jsp/seccion.jsp?id=143&sadm=28>, [2017], [22 marzo].
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales**, (2007), *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, MAPAS, CNA, Edición 2007, CNA-IMTA-SGT-GINT-001-2007 (Proyecto HC0758.3) del 2 de julio de 2007. [En línea] Disponible en <ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007>,

<http://www.mapasconagua.net/Carru.aspx>,

<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/43RedesDeDistribucion.pdf>, [2017, 30 marzo].

**SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales IMTA, (2014), *Diario Oficial de la Federación de México DOF* (2014, 8 abril, p.p. 63, 109, et al), Programa Nacional Hídrico 2014-2018Institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua 2014-2018, [En línea], Disponible en [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5339732&fecha=08/04/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5339732&fecha=08/04/2014), [2017, 2 abril].**

**Toledo, A. (2002), “El Agua en México y en el Mundo”, Instituto Nacional de Ecología, Gaceta Ecológica, No. 64, p.p. 9-18 et al, [En línea], Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2887484>, [2017, 30 marzo].**

**WCED, 1987, *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro Futuro Común*, Transmitido a la Asamblea General como anexo al documento A / 42/427 - Desarrollo y Cooperación Internacional: Medio Ambiente; [En Línea], Disponible en <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> [2017, 29 marzo] .**

## Francisco Javier Sáenz Esparza

Experiencia	<p>2016 – a la fecha</p> <p>Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Director de Operacion</li> </ul>
	<p>1999 -- 2016</p> <p>Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gerente de Distribución de la Dirección de Operación.</li> </ul> <p>1996–1999</p> <p>Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gerente Técnico de la Coordinación de Municipios Foráneos.</li> </ul> <p>1982–1995</p> <p>Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Superintendente de la Central Poniente.</li> </ul> <p>1980–1982</p> <p>Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.</p> <p>Auxiliar de Superintendente.</p> <p>1979–1980</p> <p>Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Residente de la Región Sur del estado de Nuevo León.</li> </ul>
Educación	<p>1964 – 1970 Escuela Primaria Alberto Sánchez</p> <p>1970 – 1973 Escuela Secundaria Jesús M. Montemayor</p> <p>1973 – 1975 Preparatoria N° 2 U.A.N.L.</p> <p>1975 – 1979 Facultad de Ingeniería Civil U.A.N.L. (Ingeniero Civil)</p> <p>1980 – 1981 Facultad de Ingeniería Civil U.A.CH. (Especialidad en Agua Potable y Alcantarillado)</p> <p>2004–2006 Facultad de Ingeniería Civil U.A.N.L. (Maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental)</p>
Cursos	<p>Macromedición, México, D.F.</p> <p>Operación de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, México, D.F.</p> <p>Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado en los sistemas de las ciudades de Guadalajara y México, D.F.</p> <p>Construcción y Operación de Líneas de Grandes Diámetros (acueductos) Buenos Aires, Argentina.</p> <p>Control Total de la Calidad, Monterrey, N.L.</p> <p>Construcción y Operación de Plantas de Tratamiento, Monterrey, N.L.</p> <p>Seguridad en los Sistemas de Alcantarillado, Monterrey, N.L.</p> <p>Mejora de Procesos, Monterrey, N.L.</p> <p>Tecnologías Omega en el 2000, Monterrey, N.L.</p> <p>Mejora de Proceso II, a Través de la Filosofía Six Sigma, Monterrey, N.L.</p> <p>Encuentro Nacional sobre Buenas Prácticas en los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. San Pedro Garza García, N.L.</p> <p>Mantenimiento e Instalación de Válvulas de Control, Medidores. en Israel.</p> <p>Ahorro de Energía y Detección de Fugas, Tlaxcala, Tlaxcala.</p> <p>Control de Pérdidas de Agua, Hidalgo.</p>